

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-162332

(P2002-162332A)

(43) 公開日 平成14年6月7日(2002.6.7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード(参考)
G 0 1 N 13/14		G 0 1 N 13/14	B 2 F 0 6 5
B 2 3 K 26/00		B 2 3 K 26/00	G 4 E 0 6 8
B 8 2 B 3/00		B 8 2 B 3/00	5 D 0 9 0
G 1 1 B 7/004		G 1 1 B 7/004	Z 5 D 1 1 9
7/135		7/135	A

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-358816(P2000-358816)

(22) 出願日 平成12年11月27日(2000.11.27)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 黒田 亮

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72) 発明者 稲生 耕久

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(74) 代理人 100105289

弁理士 長尾 達也

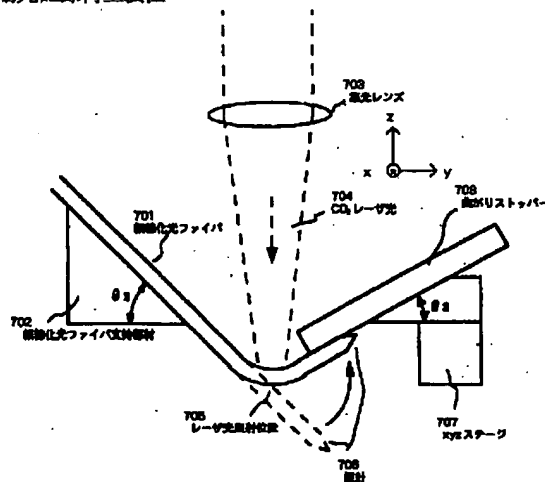
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 近接場光プローブの作製方法及び近接場光プローブの作製装置、及び近接場光プローブ、近接場光学顕微鏡、近接場光微細加工装置、近接場光記録再生装置

(57) 【要約】

【課題】 近接場光プローブをレーザ光の照射により曲げ加工を行う場合に、照射されるレーザ光によって探針先端が溶融して丸まることが防止され、高い分解能の近接場光プローブを作製することが可能となる近接場光プローブの作製方法及び近接場光プローブの作製装置、及び近接場光プローブ、近接場光学顕微鏡、近接場光微細加工装置、近接場光記録再生装置を提供する。

【解決手段】 レーザ光の照射により照射部分を溶融し、根元部分に対して探針を有する先端部分を曲げるようにする曲げ加工を行って、近接場光プローブを作製する近接場光プローブの作製方法において、前記近接場光プローブが、前記レーザ光の照射方向である垂直方向に対し、ずらした角度から該レーザ光の照射を受けるようにして、曲げ加工を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項1】レーザ光の照射により照射部分を溶融し、根元部分に対して探針を有する先端部分を所定角度に曲げ加工を行って、近接場光プローブを作製する近接場光プローブの作製方法において、

前記近接場光プローブが、前記レーザ光の照射方向である垂直方向に対し、ずらした角度から該レーザ光の照射を受けるようにして、曲げ加工を行うことを特徴とする近接場光プローブの作製方法。

【請求項2】前記曲げ加工において、曲げストッパーを配置し、前記近接場光プローブの曲げ角度を制限することを特徴とする請求項1に記載の近接場光プローブの作製方法。

【請求項3】レーザ光の照射により照射部分を溶融して根元部分に対して探針を有する先端部分を所定角度に曲げる曲げ加工手段を備えた近接場光プローブの作製装置において、

前記曲げ加工手段が、前記レーザ光の照射方向である垂直方向からずらした角度で、前記近接場光プローブを支持する支持手段を有し、該支持手段によって支持された近接場光プローブが該レーザ光の照射方向とずらした角度から該レーザ光の照射を受けるように構成されていることを特徴とする近接場光プローブの作製装置。

【請求項4】前記曲げ加工手段が、曲げストッパーを備え、該曲げストッパーによって前記近接場光プローブの曲げ角度を制限するように構成されていることを特徴とする請求項3に記載の近接場光プローブの作製装置。

【請求項5】請求項1～2のいずれか1項に記載の近接場光プローブの作製方法、または請求項3～4のいずれか1項に記載の近接場光プローブの作製装置によって作製された近接場光プローブを用い、前記曲げ加工によって曲げられた先端部分と該根元部分に対して遮光材料を成膜する工程を、該先端部分に対する第1の成膜工程と該根元部分に対する第2の成膜工程との二段階に分け、これら各成膜工程での成膜に際し、それぞれの異なる軸回りにプローブを回転させながら、その回転軸と垂直な方向からプローブ表面に遮光材料による成膜を行うことを特徴とする近接場光プローブの作製方法。

【請求項6】前記第1の成膜工程において、前記回転軸に垂直な方向に対して前記近接場光プローブの根元部分を支持する角度を、該近接場光プローブを使用する装置に取り付ける際に該近接場光プローブの根元部分が該近接場光プローブ先端を対向させる試料表面に対してなす角度と一致させることを特徴とする請求項5に記載の近接場光プローブの作製方法。

【請求項7】請求項1～2のいずれか1項に記載の近接場光プローブの作製方法、または請求項3～4のいずれか1項に記載の近接場光プローブの作製装置、または請求項5～6のいずれか1項に記載の近接場光プローブの作製方法によって作製された近接場光プローブ。

【請求項8】請求項7に記載の近接場光プローブによって、該近接場光プローブの先端が片持ち梁の自由端となるように基板に支持する一方、前記基板に一端が支持された該近接場光プローブとは別の棒状部材の他端を、前記近接場光プローブの先端近傍に接合して、該近接場光プローブと該棒状部材とでV字形が形成されるようにして構成されていることを特徴とする近接場光プローブ。

【請求項9】請求項7に記載の近接場光プローブを用い、該近接場光プローブの先端が片持ち梁の自由端となるように基板に支持する工程と、該近接場光プローブとは別の棒状部材の一端を該近接場光プローブの先端近傍へ接合するに際し、該近接場光プローブに対して該棒状部材のなす角度が所定の角度となるように接合する工程と、前記基板に、前記棒状部材の他端を支持する工程と、を有することを特徴とする近接場光プローブの作製方法。

【請求項10】近接場光プローブによって試料表面を観察する近接場光学顕微鏡において、前記近接場光プローブを請求項7～8のいずれか1項に記載の近接場光プローブ、または請求項9に記載の近接場光プローブの作製方法によって作製された近接場光プローブによって構成したことを特徴とする近接場光学顕微鏡。

【請求項11】近接場光プローブによって被加工面を微細加工する近接場光微細加工装置において、前記近接場光プローブを請求項7～8のいずれか1項に記載の近接場光プローブ、または請求項9に記載の近接場光プローブの作製方法によって作製された近接場光プローブによって構成したことを特徴とする近接場光微細加工装置。

【請求項12】近接場光プローブによって情報の記録再生を行う近接場光記録再生装置において、前記近接場光プローブを請求項7～8のいずれか1項に記載の近接場光プローブ、または請求項9に記載の近接場光プローブの作製方法によって作製された近接場光プローブによって構成したことを特徴とする近接場光記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、近接場光プローブの作製方法と近接場光プローブの作製装置、及び近接場光プローブ、近接場光学顕微鏡、近接場光微細加工装置、近接場光記録再生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、STM（走査型トンネル顕微鏡）やAFM（原子間力顕微鏡）に代表されるSPM（走査型プローブ顕微鏡）技術の進展により、先端を尖らせたプローブを試料に対して100nm以下の距離まで近づけることにより、顕微鏡としての分解能を飛躍的に向上させることが可能となり、原子や分子サイズのものを観察できるようになった。光に関してもSPMのファミリーとして、尖鋭な光プローブ先端の微小開口から滲み出

すエバネッセント光を利用して試料表面状態を調べる近接場光学顕微鏡（以下SNOMと略す）[EP0112401, Durig他, J. Appl. Phys. vol. 59, p. 3318 (1986)]や、試料裏面からプリズムを介して全反射の条件で光を入射させ、試料表面へしみ出す近接場光を試料表面から光プローブで検出して試料表面を調べるフォトンSTM（以下PSTMと略す）[Reddick他, Phys. Rev. B vol. 39, p. 767 (1989)]も開発された。上記SNOMを用いることにより、100nm以下の微小な領域にアクセスし、光学的情報を検出することができる。SNOMに用いる光プローブの作製方法として、光ファイバを化学エッチングし、コアとクラッドの材質の違いによるエッチング速度の違いを利用して、光ファイバの先端を尖鋭化する方法が提案されている（特開平5-241076号公報）。また、光ファイバやビベットを引張った状態でその一部分をヒーター加熱やレーザー照射、放電により溶融し、延伸することにより尖鋭化する方法も提案されている（米国特許第4917462号明細書）。さて、SNOMにおいて試料表面に対し、光プローブ先端の位置を近接場光の作用の及ぶ100nm以下の距離に制御するための方式として、いくつかの方式が提案されている。第1の方式は、光プローブを試料表面に対して平行方向に振動させ、光プローブ先端と試料表面との間に働く横方向のファンデルワールス力であるシアーフォースを検出し、これを一定に保つように距離制御を行うシアーフォース方式である。第2の方式は、光プローブとしてカンチレバー形の光プローブを用い、光プローブ先端と試料表面の間に働くファンデルワールス力や原子間力を検出し、これを一定に保つように距離制御を行うAFM方式である。ここで、AFM方式に用いるカンチレバータイプの光プローブとしては、ビベットや光ファイバの先端を加工して突起の先端に光学的微小開口を形成し、さらに、CO₂レーザー光等を照射することによりビベットや光ファイバを曲げてカンチレバーとしての機能を持たせる方法が提案されている（米国特許第5677978号明細書、特開平7-174542号公報）。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のような尖鋭化させた光ファイバやビベットを曲げてカンチレバー化する光プローブ作製方法には、次のような問題点を有している。図8にCO₂レーザー照射の際に尖鋭化した光ファイバ（細線化光ファイバ801）を水平に支持した例を示す。図8において、水平に支持された細線化光ファイバ801に対して、先端から少し手前の位置にCO₂レーザー光802を照射すると、レーザー光照射位置805が溶融し、図中の上方に曲がる。この結果、前工程の化学エッチングにおいて尖鋭化された探針先端803がCO₂レーザー光の照射範囲に入り、尖鋭化され

た先端が溶融して先端が丸まった探針804となる。この結果、後述の開口形成工程で形成される開口径も小さくなってしまい、近接場光プローブとしての分解能が低下してしまう。

【0004】そこで、本発明は、上記従来のものにおける課題を解決し、近接場光プローブをレーザー光の照射により曲げ加工を行う場合に、照射されるレーザー光によって探針先端が溶融して丸まることが防止され、高い分解能の近接場光プローブを作製することが可能となる近接場光プローブの作製方法及び近接場光プローブの作製装置、及び近接場光プローブ、近接場光学顕微鏡、近接場光微細加工装置、近接場光記録再生装置を提供することを目的とするものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を達成するために、つぎの(1)～(12)のように構成した近接場光プローブの作製方法及び近接場光プローブの作製装置、及び近接場光プローブ、近接場光学顕微鏡、近接場光微細加工装置、近接場光記録再生装置を提供するものである。

(1) レーザ光の照射により照射部分を溶融し、根元部分に対して探針を有する先端部分を所定角度に曲げ加工を行って、近接場光プローブを作製する近接場光プローブの作製方法において、前記近接場光プローブが、前記レーザー光の照射方向である垂直方向に対し、ずらした角度から該レーザー光の照射を受けるようにして、曲げ加工を行うことを特徴とする近接場光プローブの作製方法。

(2) 前記曲げ加工において、曲げストッパーを配置し、前記近接場光プローブの曲げ角度を制限することを特徴とする上記(1)に記載の近接場光プローブの作製方法。

(3) レーザ光の照射により照射部分を溶融して根元部分に対して探針を有する先端部分を所定角度に曲げる曲げ加工手段を備えた近接場光プローブの作製装置において、前記曲げ加工手段が、前記レーザー光の照射方向である垂直方向からずらした角度で、前記近接場光プローブを支持する支持手段を有し、該支持手段によって支持された近接場光プローブが該レーザー光の照射方向とずらした角度から該レーザー光の照射を受けるように構成されていることを特徴とする近接場光プローブの作製装置。

(4) 前記曲げ加工手段が、曲げストッパーを備え、該曲げストッパーによって前記近接場光プローブの曲げ角度を制限するように構成されていることを特徴とする上記(3)に記載の近接場光プローブの作製装置。

(5) 上記(1)～(2)のいずれかに記載の近接場光プローブの作製方法、または上記(3)～(4)のいずれかに記載の近接場光プローブの作製装置によって作製された近接場光プローブを用い、前記曲げ加工によって曲げられた先端部分と該根元部分に対して遮光材料を成膜する工程を、該先端部分に対する第1の成膜工程と該

根元部分に対する第2の成膜工程との二段階に分け、これら各成膜工程での成膜に際し、それぞれの異なる軸回りにプローブを回転させながら、その回転軸と垂直な方向からプローブ表面に遮光材料による成膜を行うことを特徴とする近接場光プローブの作製方法。

(6) 前記第1の成膜工程において、前記回転軸に垂直な方向に対して前記近接場光プローブの根元部分を支持する角度を、該近接場光プローブを使用する装置に取り付ける際に該近接場光プローブの根元部分が該近接場光プローブ先端を対向させる試料表面に対してなす角度と一致させることを特徴とする上記(5)に記載の近接場光プローブの作製方法。

(7) 上記(1)～(2)のいずれかに記載の近接場光プローブの作製方法、または上記(3)～(4)のいずれかに記載の近接場光プローブの作製装置、または上記(5)～(6)のいずれかに記載の近接場光プローブの作製方法によって作製された近接場光プローブ。

(8) 上記(7)に記載の近接場光プローブによって、該近接場光プローブの先端が片持ち梁の自由端となるように基板に支持する一方、前記基板に一端が支持された該近接場光プローブとは別の棒状部材の他端を、前記近接場光プローブの先端近傍に接合して、該近接場光プローブと該棒状部材とでV字形が形成されるようにして構成されていることを特徴とする近接場光プローブ。

(9) 上記(7)に記載の近接場光プローブを用い、該近接場光プローブの先端が片持ち梁の自由端となるように基板に支持する工程と、該近接場光プローブとは別の棒状部材の一端を該近接場光プローブの先端近傍へ接合するに際し、該近接場光プローブに対して該棒状部材のなす角度が所定の角度となるように接合する工程と、前記基板に、前記棒状部材の他端を支持する工程と、を有することを特徴とする近接場光プローブの作製方法。

(10) 近接場光プローブによって試料表面を観察する近接場光学顕微鏡において、前記近接場光プローブを上記(7)～(8)のいずれかに記載の近接場光プローブ、または上記(9)に記載の近接場光プローブの作製方法によって作製された近接場光プローブによって構成したことを特徴とする近接場光学顕微鏡。

(11) 近接場光プローブによって被加工面を微細加工する近接場光微細加工装置において、前記近接場光プローブを上記(7)～(8)のいずれかに記載の近接場光プローブ、または上記(9)に記載の近接場光プローブの作製方法によって作製された近接場光プローブによって構成したことを特徴とする近接場光微細加工装置。

(12) 近接場光プローブによって情報の記録再生を行う近接場光記録再生装置において、前記近接場光プローブを上記(7)～(8)のいずれかに記載の近接場光プローブ、または上記(9)に記載の近接場光プローブの作製方法によって作製された近接場光プローブによって構成したことを特徴とする近接場光記録再生装置。

【0006】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態においては、本発明の上記構成を適用することにより、加工ビーム照射部分を溶融し、カンチレバー形近接場光プローブの曲げ加工を行う場合に、加工ビーム照射方向に対し、近接場光プローブを垂直からずらした角度で加工ビーム照射を行うことにより、溶融による先端の丸まりを避けることができ、高い分解能の近接場光プローブを作製することが可能となる。

10 【0007】

【実施例】以下に、本発明の実施例について図を用いて説明する。

【0008】図1は、本発明の実施例における近接場光プローブの構成を示す図であり、近接場光プローブの中心軸を含む平面でこのプローブを切断した断面を示す。図1において、101は直径20 μ mの円柱棒形状を有する細線化光ファイバAであり、102は同じく直径20 μ mの円柱棒形状の細線化光ファイバBである。

【0009】細線化光ファイバA101の先端は、曲率半径が1 μ m以下まで円錐形状に尖鋭化され、探針103を構成している。細線化光ファイバA101の周囲には遮光用のための金属コーティングとして、膜厚150nmの遮光用A1コーティング104が施されている。探針103の先端には、直径が100nm以下の大きさの微小開口105が設けられている。細線化光ファイバA101の先端近傍に細線化光ファイバB102の一端が接着剤B106で接合され、接合部分107を構成している。細線化光ファイバA101の根元部分は光プローブ支持基板108に接着剤A109で固定されている。細線化光ファイバB102の接合部分107と反対側の他端は光プローブ支持基板108に接着剤C110で固定されている。

【0010】上記の構成により、細線化光ファイバA101に図中に示すx方向への弾性変形を生じさせることによって、先端の探針103部分はx方向に変位可能となる。しかしながら、細線化光ファイバB102がV字形に接合されているため、y方向への弾性変形量は少なくなり、探針103部分のy方向への変位量も小さくすることができる。

【0011】具体的数値例として、直径がいずれも20 μ mの細線化光ファイバA101及び、細線化光ファイバB102の材質を石英とし、光プローブ支持基板108から細線化光ファイバA101及び、細線化光ファイバB102が突き出ている長さをいずれも500 μ m、細線化光ファイバA101と細線化光ファイバB102のなす角度を45°とすると、本近接場光プローブの先端に力を加えた場合、先端のx方向の変位に関する弾性定数は20N/mとなるのに対し、y方向の変位に関する弾性定数は20000N/mと1000倍に固くなる。このため、同じような力が加わる場合に探針103

部分のx方向の変位に比べ、y方向の変位は極めて小さくなることからわかる。

【0012】細線化光ファイバA101の根元部分は、細線化される前の元の光ファイバ111につながっており、この元の光ファイバ111の端から光112を入射させることにより、微小開口105から近接場光を発生させることができる。また、微小開口105で検出したエバネッセント光が細線化光ファイバA101内で変換された伝搬光を元の光ファイバ111の端から出射させることにより、近接場光の強度を検出することが可能となる。

【0013】次に図2～図4を用いて、本実施例における近接場光プローブの作製方法を説明する。図2は化学エッチングを用いて光ファイバを細線化する工程を説明する図である。50mm程度の長さの端面へき開した光ファイバ203の先端から10mm程度をテフロン（登録商標）容器201内のエッチング液202に浸潤させる。ここで用いる光ファイバの構成は次のとおりである。クラッド204径が125 μ m、コア205径が20 μ m、クラッド材質は純粋石英、コア材質は純粋石英にGeO₂を濃度16mol%でドーパしたものである。

【0014】エッチング液202の組成は、NH₄F（40%水溶液）：HF（50%水溶液）：H₂O＝10：1：1である。光ファイバ203をエッチング液202に浸潤すると、浸潤部分のクラッド及びコアがエッチングされ、図中のエッチング途中の光ファイバ209に示すようにクラッド径が小さくなるとともにコア先端が尖鋭化する。これは、石英がエッチングされる際、

（1）GeO₂がドーパされているコア部分はクラッド部分に比べてエッチングレートが低いことと、（2）光ファイバは延伸して作製されているため、延伸方向とそれに垂直な方向とで異方性が生じ、延伸方向と垂直方向との間でエッチングレートが異なることの2つが原因となっている。エッチング開始後、約10時間経過すると、エッチングによりクラッド部分がなくなってコア部分が露出し（コア露出部分206）、円錐状に尖鋭化したコア部分（尖鋭化部分208）のみが残る。この時の様子を図中のエッチング終了時の光ファイバ207に示す。

【0015】以上の工程により、直径20 μ mのコア露出部分206及び、曲率半径が1 μ m以下の尖鋭化部分208を有する円錐状の先端形状を持つ細線化光ファイバを得ることができる。この細線化光ファイバは元の光ファイバのコア部分のみから構成されているので、元の光ファイバがステップインデックス（SI）型の場合は、コア材料は均質な材料からなり、先端は円錐状となる。また、元の光ファイバがグレイデッドインデックス（GI）型の場合は、コア材料は中心から外周に向かって緩やかに成分構成比が変化したものとなり、先端はほ

ぼ円錐状であるが少しずれた形状となる。

【0016】以上説明したように、コアが露出するまでエッチングを行うことにより得られる細線化光ファイバは、先端には円錐状の探針を形成でき、探針根元と細線化光ファイバ側面の境界付近に中心軸に対して垂直な面を有することがない。このため、次に述べる横方向からの遮光用金属蒸着によって、先端の微小開口形成部分以外の部分膜厚が薄くなることなく、不要な漏れ光がなくなる。また、単一工程で細線化及び尖鋭化加工を行うことが可能であるため、複数の組成のエッチング液を多段階に用いることなく、コストが低減される。

【0017】次に、本実施例における光ファイバーの先端に光学的微小開口を有する近接場光プローブの形成方法について説明する。図3に示すように細線化光ファイバ301に対して中心軸303回りに回転させながら横方向からA1蒸着302を行い、厚さ150nmの遮光用A1膜305を形成する。細線化光ファイバ301の先端は1 μ m以下の曲率半径を有する球面になっており、これに対して横方向から金属蒸着を行うと、先端の膜厚が側面に比べて薄くなるため、光学的開口304が形成される。このとき開口のサイズは、先端の曲率半径とほぼ同程度である。このようにして近接場光プローブを形成した後、細線化光ファイバの探針とは反対側の端に十分な長さの光ファイバを融着接続し、この光ファイバを通して、近接場光プローブとして使用する際の光の出し入れを行う。

【0018】次に、上記のように形成された近接場光プローブを用いて、プローブを走査する場合、探針先端の横方向の位置ずれが生じないようにするための構成例について説明する。従来において、光ファイバやビペットを尖鋭化させて作製した光プローブをシアーフォース方式の距離制御に用いた場合、次のような問題が生じる。まず、図17（a）に示すようにシアーフォース方式の距離制御では、試料表面1701に先端を近づけて配置した光プローブ1702にピエゾ素子1703を取り付け、図中x方向に光プローブ1702を振動させる。このとき、理想的には、光プローブ先端は試料側から見た図である図17（b）に示した矢印のようにx方向に往復振動する。しかしながら、光ファイバやビペットを尖鋭化させて作製した光プローブは円柱状であるため、x方向とy方向の撓みに関する弾性定数が同じになる。そのため、x方向に振動するうちにy方向の振動成分が励起され、図17（c）に示すように光プローブ先端が楕円状に回転したり、図17（d）に示すように8の字状に運動する。このため、光プローブ先端がy方向に位置ずれを起こし、SNOMを用いた観察や加工・記録の位置分解能が低下してしまう。

【0019】また、光ファイバやビペットを尖鋭化させ、さらにカンチレバー化して作製した光プローブを試料面にプローブ先端を接触させ、ファンデルワールス力

の斥力を検出するコンタクトモードAFM方式の距離制御に用いた場合、次のような問題が生じる。試料表面に対して先端を近接させて配置したカンチレバー形光プローブを試料面とは反対側の面から見た図である図18に示すように、光プローブを+y方向に走査させる際、光プローブ先端は試料表面からの摩擦を受け、走査方向と反対の-y方向に撓みを生じる。このため、光プローブ先端が-y方向に位置ずれを起こし、SNOMを用いた観察や加工・記録の位置分解能が低下することとなる。

【0020】これに対して、本実施例のように、別の細線化光ファイバを前記のようにして形成した細線化光ファイバの先端近傍にV字形が形成されるように接合することで、探針先端の横方向の位置ずれを防止することが可能となる。具体的には、図4に示す装置を用いて、これまで説明したようにして作製した細線化光ファイバA401と、同様に化学エッチングを用いて細線化を行った別の細線化光ファイバB402とをV字形に接合する。まず、接着剤A404を用いて、細線化光ファイバA401をプローブ支持基板403に固定する。次に細線化光ファイバB402をxyzθステージ405にテープ406で仮止めし、細線化光ファイバB402の先端に接着剤B407を塗布する。最後に、図中z方向及びy方向の2方向から顕微鏡やビデオカメラ等を用いてモニターしながら、xyzステージ405を駆動し、細線化光ファイバA401の先端近傍に所定の角度をなし、接着剤B407が塗布された細線化光ファイバB402の先端がくるように位置合わせを行い、接合を行う。十分に接着剤B407が固化したのちに、テープ406を剥がし、接着剤C408を用いて、細線化光ファイバB402をプローブ支持基板403に固定する。

【0021】ここでは、接着剤を用いてV字形接合を行う装置例を示したが、この他にも2本の針状電極を向かい合わせた間に接合部分を設置し、2本の針状電極間に放電を行い、放電融着により接合を行っても良い。また、接合部分にCO₂レーザービームを照射してレーザー融着により接合を行っても良い。

【0022】以上の工程により作製したV字形の近接場光プローブを用いたシアーフォース距離制御型の近接場光学顕微鏡の構成を図5に示す。図5においてV字形の近接場光プローブ501を支持するプローブ支持基板502をピエゾ素子503に取り付け、ファンクションジェネレータ504から正弦波信号を印加することにより図中x方向に振動させる。このとき、正弦波信号の振動数をV字形の近接場光プローブ501のx方向の撓みに関する共振周波数に一致させると、近接場プローブ501先端が共振する。この共振状態の近接場光プローブ501先端近傍にy方向からレーザーB505からレーザーを照射しその透過光ビームスポットの位置変化を二分割センサ506で検出し、二分割センサ506の差信号が近

接場光プローブ501先端の振動量に対応した信号を出力する。

【0023】一方、V字形の近接場光プローブ501の先端にxyzステージ507上に搭載した試料508表面を100nm以下の距離まで近づける。このとき、近接場光プローブ501の先端と試料508表面との間にシアーフォース（ファンデルワールス力）が作用し、近接場光プローブ501先端の振動の振幅が減少する。この振動の振幅を二分割センサ506の差信号とファンクションジェネレータ504の参照信号をもとにロックインアンプ509で検出し、これが一定となるように距離制御回路510を用いてxyzステージ507のz方向フィードバック距離制御を行う。このとき、z方向フィードバック距離制御信号は、同時に試料508表面の形状信号としてコンピュータ517に入力される。

【0024】さらに、近接場光プローブ501に接続した光ファイバ511にレーザA512からのレーザ光を集光レンズA513で入射し、近接場光プローブ501先端に設けられた微小開口から近接場光を発生させる。この近接場光を試料508表面で散乱させ、この散乱光514を集光レンズB515で集光し、光電子増倍管516で検出する。光電子増倍管516から出力される近接場光信号をコンピュータ517に入力する。

【0025】コンピュータ517からはxyzステージ507のxy方向走査信号が出力され、試料508表面に対する近接場光プローブ501先端の位置に応じて、近接場光信号及び形状信号の大きさをディスプレイ518上にマッピングすることにより、近接場光学顕微鏡像及びシアーフォース（原子間力）顕微鏡像を同時に得ることができる。

【0026】前述したV字形に接合された近接場光プローブを用いることにより、シアーフォース検出のための近接場光プローブのx方向振動時にy方向へのふれ量がほとんど無視できるほど小さく低減でき、近接場光学顕微鏡像及び、シアーフォース顕微鏡像の分解能が向上した。なお、ここで説明した近接場光プローブは顕微鏡以外に近接場光を用いた微細加工装置や記録再生装置にも用いることができ、同様の効果を有している。

【0027】図6は、根元部分に対して探針を有する先端部分を所定角度に曲げ加工を行ってプローブを用いた近接場光プローブの構成を示す図である。図6(a)は上方から見た断面図、図6(b)は側方から見た断面図である。図6において601は直径20μmの円柱棒形状を有する細線化光ファイバAであり、602は同じく直径20μmの円柱棒形状の細線化光ファイバBである。細線化光ファイバA601の先端から100μmの位置で細線化光ファイバA601はθ1=75°の角度に曲げられている。この様子を図6(b)に示す。

【0028】曲げられた細線化光ファイバA601の先端は曲率半径が1μm以下まで円錐形状に尖鋭化され、

探針603を構成している。細線化光ファイバA601の周囲には遮光用のための金属コーティングとして、膜厚150nmの遮光用A1コーティング604が施されている。探針603の先端には、直径が100nm以下の大きさの微小開口605が設けられている。

【0029】細線化光ファイバA601の先端から150 μ mの位置に細線化光ファイバB602の一端が接着剤B606で接合され、接合部分607を構成している。細線化光ファイバA601の根元部分は光プローブ支持基板608に接着剤A609で固定されている。細線化光ファイバB602の接合部分607と反対側の他端は光プローブ支持基板608に接着剤C610で固定されている。

【0030】上記の構成により、細線化光ファイバA601に図中に示すz方向への弾性変形を生じさせることにより、先端の探針603部分はz方向に変位可能となる。しかしながら、細線化光ファイバB602がV字形に接合されているため、x方向への弾性変形量は小さくなり、探針603部分のx方向への変位量も小さくすることができる。

【0031】具体的数値例として、直径がいずれも20 μ mの細線化光ファイバA601及び、細線化光ファイバB602の材質を石英とし、光プローブ支持基板608から細線化光ファイバA601及び、細線化光ファイバB602が突き出ている長さをいずれも3mm、細線化光ファイバA601と細線化光ファイバB602のなす角度を45°とすると、本近接場光プローブの先端に力を加えた場合、先端のx方向の変位に関する弾性定数は0.1N/mとなるのに対し、y方向の変位に関する弾性定数は3500N/mと35000倍に固くなる。このため、同じような力が加わる場合に探針603部分のz方向の変位に比べ、x方向の変位は極めて小さくなることがわかる。

【0032】細線化光ファイバA601の根元部分は、細線化される前の元の光ファイバ611につながっており、この元の光ファイバ611の端から光612を入射させることにより、微小開口605からエバネッセント光を発生させることができる。また、微小開口605で検出した近接場光が細線化光ファイバA601内で変換された伝搬光を元の光ファイバ611の端から出射させることにより、近接場光の強度を検出することが可能となる。

【0033】次に図7～図15を用いて、本実施例の先端が曲げられた近接場光プローブの作製方法を説明する。図7はCO₂レーザ光照射により細線化光ファイバ先端を曲げる工程を説明する図である。本実施例において図2を用いて説明したのと同様に化学エッチングを用いて細線化した光ファイバ701を水平面に対し、 $\theta_2 = 45^\circ$ の角度をなす細線化光ファイバ支持部材702に固定する。先端から140(=100 $\times\sqrt{2}$) μ mの

位置に集光レンズ703を用いてビームスポット径を50 μ mに集光したCO₂レーザ光704を照射する。これにより、細線化光ファイバ701のレーザ光照射位置705が溶融し、表面張力のため探針706先端が図中z方向に曲がろうとする。

【0034】このとき、あらかじめxyzステージ707上に水平面に対し $\theta_3 = 30^\circ$ の角度をなす曲がりストッパー708を取り付け、曲がりストッパー708の先端を探針706の曲がり経路の途中に配置しておくことにより、探針706の曲がり曲がりストッパー708によって拘束される。このあとCO₂レーザ光704照射を停止することにより、細線化光ファイバ701の先端を75°(=45°+30°)の角度で曲げることができる。ここで、細線化光支持部材702や曲がりストッパー708の角度を調整することにより、所望の角度での曲がり加工を行うことができる。

【0035】ここで、CO₂レーザを照射する際、斜め(本実施例では45°)に細線化光ファイバを支持して加工を行う利点について説明する。図8は、CO₂レーザ照射の際に細線化光ファイバを水平に支持した例を示す図である。

【0036】図8において、水平に支持された細線化光ファイバ801に対して、先端から少し手前の位置にCO₂レーザ光802を照射すると、レーザ光照射位置805が溶融し、図中の上方に曲がる。この結果、前工程の化学エッチングにおいて尖鋭化された探針先端803がCO₂レーザ光の照射範囲に入り、尖鋭化された先端が溶融して先端が丸まった探針804となる。この結果、後述の開口形成工程で形成される開口径も大きくなってしまい、近接場光プローブとしての分解能が低下してしまう。

【0037】これに対して、図7に示すようにCO₂レーザ光照射方向に対して細線化光ファイバ701の中心軸を垂直からずらした角度に斜めに支持すれば、(曲がりストッパーがない場合でも、)75°程度に曲がったのちも先端がCO₂レーザ照射範囲に入ることなく、尖鋭化先端が丸まることを避けることができる。また、CO₂レーザを照射する際、曲がりストッパーを用いて加工を行う利点について説明する。図9は、CO₂レーザ照射の際に曲がりストッパーがない例を示す図である。

【0038】図9において、細線化光ファイバ支持部材901を用いて斜めに支持した細線化光ファイバ902に対して、先端から少し手前の位置にCO₂レーザ光903を照射すると、レーザ光照射位置904が溶融し、図中の上方に曲がる。その後、レーザ照射を停止して曲がりを停止させるが、曲がり速度は曲がり角度が大きくなるにつれて急激に大きくなるため、所望の角度に曲がり角度を制御することは難しく、結果として、図9にA、B、Cで示したように先端の曲がり角度が大きく異なったプローブが得られがちである。これに対して、図

7に示すように曲がりストッパーを用いれば、所望の角度の曲がり角度を有するプローブを歩留まり良く作製することができる。

【0039】次に、図10に示すように先端が曲げられた細線化光ファイバ1001を回転ステージ1006に対して $\theta_4 = 15^\circ$ の角度に傾けられた回転コーティング時細線化光ファイバ支持部材1007に支持する。このとき、細線化光ファイバ1001の曲げられた先端を回転ステージ面の法線方向に向けて配置する。回転ステージ1006はステージ面の法線方向を中心軸1003にして回転を行う。この状態で横方向からA1蒸着1002を行い、厚さ150nmの遮光用A1膜1005を形成する。細線化光ファイバ1001の先端は1 μ m以下の曲率半径を有する球面になっており、これに対して横方向から金属蒸着を行うと、先端の膜厚が側面に比べて薄くなるため、光学的開口1004が形成される。このとき開口のサイズは、先端の曲率半径とほぼ同程度である。

【0040】ここで、回転金属蒸着の際の回転軸を細線化光ファイバ先端の曲げ部分の中心軸に一致させて回転を行うようにすると、曲がり角度がばらついた近接場光プローブの場合に、微小開口の方向を細線化光ファイバ先端の曲げ部分の中心軸の方向に一致させることができる。しかしながら、図11に示すように、実際に使用する装置に異なる近接場光プローブC1101、D1102を取り付けた際に微小開口C1103、D1104の方向が被加工表面や試料表面、記録媒体表面1105の法線方向と一致せず、まちまちの方向を向いてしまい、発生する近接場光の分布方向が異なり、加工や観察、記録再生の際に位置ずれを生じてしまう。

【0041】これに対して、先端が曲げられた細線化光ファイバ1001を回転ステージ1006に固定する際に傾ける角度 θ_4 は、図12に示すように本実施例の近接場光プローブを使用する装置に取り付ける際に被加工表面や試料表面、記録媒体表面1201に対して近接場光プローブの中心軸1206を傾ける角度と一致させることができる。すなわち、これにより、CO₂レーザ照射による曲げ加工時に曲がりストッパーを用いず、図9に示すように曲がり角度がばらついてしまった細線化光ファイバに対しても、図10に示すように回転金属蒸着を行い、開口形成を行ない、作製した近接場光プローブA1202、B1203先端の微小開口A1204、B1205の方向は細線化光ファイバ先端の曲がり方向とは異なるものの、被加工表面や試料表面、記録媒体表面の法線方向とは必ず一致させることができる。

【0042】さて、これまでに説明したように、先端を曲げ、微小開口を形成した細線化光プローブ1303に対して、図13に示すように微小開口1301部分を覆うように樹脂コート1302を行う。この樹脂コートにより、後の2段階目のA1蒸着時に微小開口が塞がって

しまうことを避けることができる。樹脂コートを行う方法を図14を用いて説明する。先端を曲げ、微小開口を形成した細線化光プローブ1401をzステージ1402上の支持台1403に固定する。zステージ1402を図14の下方向に駆動し、細線化光ファイバ1401先端の微小開口1405部分を樹脂溶液1404に浸潤させる。その後、zステージ1402を図14の上方向に駆動し、樹脂溶液1404から細線化光ファイバ1401先端を引き上げることにより、先端に樹脂コートを行う。

【0043】ここで、樹脂溶液としては、あとで溶媒により除去可能な樹脂、例えば、アクリル樹脂やレジストなどを用いることができる。ここで、細線化光ファイバ1401は図中z方向の撓みに関する弾性定数が小さいので、樹脂溶液1404の表面張力により、微小開口1405部分だけでなく、根元までが浸潤してしまう。そこで、図14に示す沈みストッパー1406を取り付け、細線化光1401の先端の曲がり部分に近い部分を下方向から支えるように配置するようにする。これにより、細線化光ファイバ1401先端の微小開口1405部分のみを選択的に樹脂コートすることができる。

【0044】次に図15に示すように微小開口1501部分に樹脂コート1502された細線化光ファイバ1503の側面に対して中心軸1506回りに回転させながら横方向からA1蒸着1504を行い、厚さ150nmの遮光用A1膜1505を形成する。この後、樹脂コートを溶媒中で超音波洗浄により除去する。上述のような順に2段階の回転させながらのA1蒸着を行うことにより、樹脂コート部分と被コート部分の境界部分からの不要漏れ光の発生をさけることができる。

【0045】これから後の工程は、前述した様に細線化光ファイバの探針とは反対側の端に十分な長さの光ファイバを融着接続し、この光ファイバを通して、近接場光プローブとして使用する際の光の出し入れを行う。さらに、図4に示す装置を用いて、これまで説明したようにして作製した細線化光ファイバAと、同様に化学エッチングを用いて細線化を行った別の細線化光ファイバBとをV字形に接合し、図6に示したV字カンチレバー形の近接場光プローブを作製する。

【0046】以上の工程により作製した先端部分に曲げ加工を行ってプローブによるV字カンチレバー形の近接場光プローブを用いたコンタクトAFM距離制御型の近接場光プローブ走査加工装置の構成を図16に示す。図16において、プローブ支持基板1602に取り付けたV字カンチレバー形の近接場光プローブ1601の先端近傍に背後からレーザB1603からレーザを照射し、その反射光ビームスポットの位置変化を二分割センサ1604で検出する。二分割センサ1604の差信号は近接場光プローブ1601先端のz方向の撓み量に対応したAFM信号であり、これをコンピュータ1608に入力

する。

【0047】一方、xyzステージ1605をz方向に駆動することにより、近接場光プローブ1601の先端をxyzステージ1605上に搭載した基板1607上のレジスト1606表面に対し、 $10E-7$ [N]以下のファンデルワールス力が働く程度に接触させる。この状態で、コンピュータ1608からxyzステージ駆動信号を出力し、xyzステージ1605をxy方向に2次元走査させる。

【0048】コンピュータ1608において、xyzステージ1605のxy方向駆動信号に対し、AFM信号の大きさをマッピングすることにより、レジスト1606の表面形状を知ることができ、これを元にレジスト1606、すなわち基板1607に対する近接場光プローブ1601先端の位置合わせを行う。さらに、近接場光プローブ1601に接続した光ファイバ1609にレーザA1610からのレーザ光を集光レンズA1611で入射し、近接場光プローブ1601先端に設けられた微小開口から近接場光を発生させる。

【0049】レジスト1606表面に対し、近接場光プローブ1601先端を間に $10E-7$ [N]以下のファンデルワールス力が働く程度に接触させたとき、両者の間隔は100nm以下になっており、レジスト1606表面における近接場光の強度は十分大きい。コンピュータ1608から出力されるxyzステージ1605のxy駆動信号及びAFM信号に基づき、レジスト1606・基板1607に対し近接場光プローブ先端が所定の位置に位置合わせされたとき、コンピュータ1608から出力されるレーザー制御信号に基づき、レーザA1610の照射・非照射の制御を行い、露光、すなわち、レジスト1606に潜像パターン1612形成を行う。これ以後は通常の半導体プロセスと同様である。

【0050】前述したV字形に接合されたカンチレバー形近接場光プローブを用いることにより、露光時の近接場光プローブのy方向走査時にy方向への撓み量がほとんど無視できるほど小さく低減でき、近接場光微細加工装置の加工精度が向上した。なお、本実施例で説明した近接場光プローブは微細加工装置以外に近接場光を用いた顕微鏡や記録再生装置にも用いることができ、同様の効果を有している。

【0051】また、本実施例では、レジスト（試料、記録媒体）表面に対する近接場光プローブの距離制御方式として、コンタクトAFM制御方式を用いる場合について説明したが、本実施例の近接場光プローブは、プローブ径や長さを変えて撓み方向の弾性定数の値を変更することにより、他に、タッピングAFM制御方式やノンコンタクトAFM制御方式を用いることができる。

【0052】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明によれば、加工ビーム照射部分を溶融し、曲げ加工を行うカン

チレバー形近接場光プローブの作製方法において、加工ビーム照射方向に対し、近接場光プローブを垂直からずらした角度で加工ビーム照射を行うことにより、溶融による先端丸まりを避けることができ、高い分解能の近接場光プローブが実現される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例における近接場光プローブの構成を示す図。

【図2】本発明の実施例における化学エッチングを用いて光ファイバを細線化する工程の説明図。

【図3】本発明の実施例における細線化光ファイバを回転させながら横方向から遮光用金属膜を形成する工程の説明図。

【図4】本発明の実施例における細線化光ファイバをV字形に接合する工程の説明図。

【図5】本発明の実施例におけるV字形の近接場光プローブを用いたシアフォース距離制御型の近接場光学顕微鏡の構成図。

【図6】本発明の実施例における本発明の工程を用いて作製した近接場光プローブの構成図。

【図7】本発明の実施例におけるCO₂レーザ照射により細線化光ファイバ先端を曲げる工程の説明図。

【図8】本発明の実施例におけるCO₂レーザ照射の際に細線化光ファイバを水平に支持した例を示す図。

【図9】本発明の実施例におけるCO₂レーザ照射の際に曲がりストッパーがない例を示す図。

【図10】本発明の実施例における第1の成膜工程である先端が曲げられた細線化光ファイバを回転させながら横方向から遮光用金属膜を形成する工程の説明図。

【図11】本発明の実施例における近接場光プローブ先端の微小開口の向きが被加工表面や試料表面、記録媒体表面の法線方向と異なる様子を示す図。

【図12】本発明の実施例における近接場光プローブ先端の微小開口の向きが被加工表面や試料表面、記録媒体表面の法線方向と一致する様子を示す図。

【図13】本発明の実施例における樹脂コートで覆われた細線化光ファイバ先端の微小開口の構成図。

【図14】本発明の実施例における樹脂コート工程の説明図。

【図15】本発明の実施例における第2の成膜工程である樹脂コートで先端を覆われた細線化光ファイバの側面に横方向から遮光用金属膜を形成する工程の説明図。

【図16】本発明の実施例におけるV字カンチレバー形の近接場光プローブを用いたコンタクトAFM距離制御型の近接場光プローブ走査加工装置の構成図。

【図17】従来例におけるシアフォース方式距離制御において光プローブ先端が往復振動からずれた運動を行う例の説明図。

【図18】従来例における光プローブ先端が摩擦力を受け、走査方向と反対方向に撓みを生じる場合の説明図。

【符号の説明】

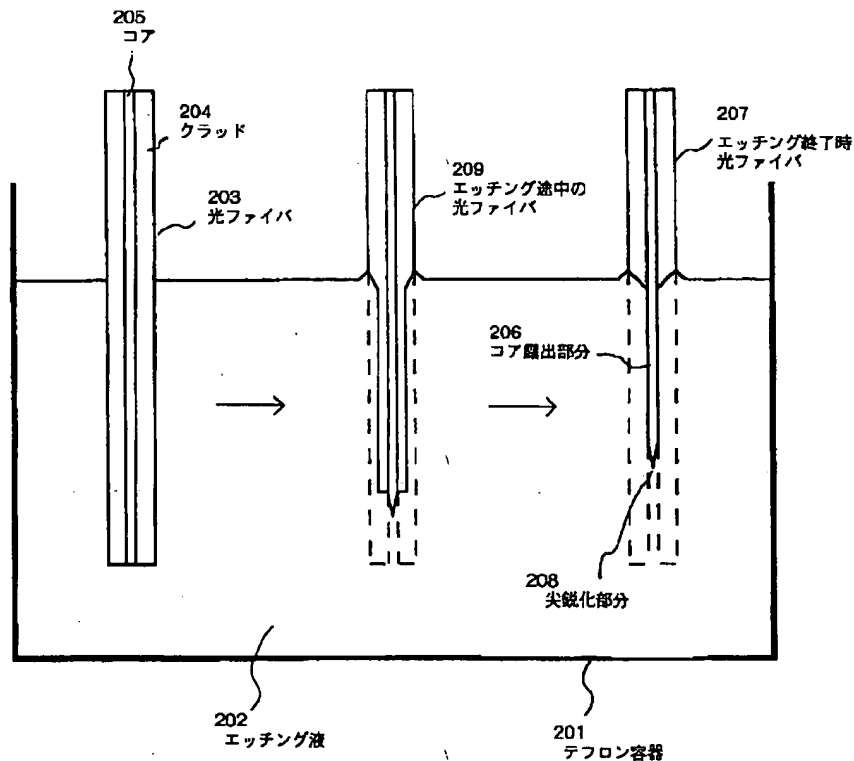
101: 細線化光ファイバA
 102: 細線化光ファイバB
 103: 探針
 104: 遮光用Alコーティング
 105: 微小開口
 106: 接着剤B
 107: 接合部分
 108: 光プローブ支持基板
 109: 接着剤A
 110: 接着剤C
 111: 元の光ファイバ
 112: 光
 201: テフロン容器
 202: エッチング液
 203: 光ファイバ
 204: クラッド
 205: コア
 206: コア露出部分
 207: エッチング終了時の光ファイバ
 208: 尖鋭化部分
 209: エッチング途中の光ファイバ
 301: 細線化光ファイバ
 302: Al蒸着
 303: 中心軸
 304: 光学的開口
 305: 遮光用Al膜
 401: 細線化光ファイバA
 402: 細線化光ファイバB
 403: プローブ支持基板
 404: 接着剤A
 405: xyzθ駆動ステージ
 406: テープ
 407: 接着剤B
 408: 接着剤C
 501: V字形の近接場光プローブ
 502: プローブ支持基板
 503: ピエゾ素子
 504: ファンクションジェネレータ
 505: レーザB
 506: 二分割センサ
 507: xyzステージ
 508: 試料
 509: ロックインアンプ
 510: 距離制御回路
 511: 光ファイバ
 512: レーザA
 513: 集光レンズA
 514: 散乱光
 515: 集光レンズB

516: 光電子増倍管
 517: コンピュータ
 518: ディスプレイ
 601: 細線化光ファイバA
 602: 細線化光ファイバB
 603: 探針
 604: 遮光用Alコート
 605: 微小開口
 606: 接着剤B
 607: 接合部分
 608: 光プローブ支持基板
 609: 接着剤A
 610: 接着剤C
 611: 元の光ファイバ
 612: 光
 701: 細線化光ファイバ
 702: 細線化光ファイバ支持部材
 703: 集光レンズ
 704: CO₂レーザ光
 705: レーザ光照射位置
 706: 探針
 707: xyzステージ
 708: 曲がりストッパー
 801: 水平に支持された細線化光ファイバ
 802: CO₂レーザ光
 803: 化学エッチングにより尖鋭化された探針
 804: 先端が丸まった探針
 805: レーザ光照射位置
 901: 細線化光ファイバ支持部材
 902: 細線化光ファイバ
 903: CO₂レーザ光
 904: レーザ光照射位置
 1001: 先端が曲げられた細線化光ファイバ
 1002: Al蒸着
 1003: 中心軸
 1004: 光学的開口
 1005: 遮光用Al膜
 1006: 回転ステージ
 1007: 回転コーティング時細線化光ファイバ支持部材
 1101: 近接場光プローブC
 1102: 近接場光プローブD
 1103: 微小開口C
 1104: 微小開口D
 1105: 被加工表面、試料表面、記録媒体表面
 1201: 被加工表面、試料表面、記録媒体表面
 1202: 近接場光プローブA
 1203: 近接場光プローブB
 1204: 微小開口A
 1205: 微小開口B

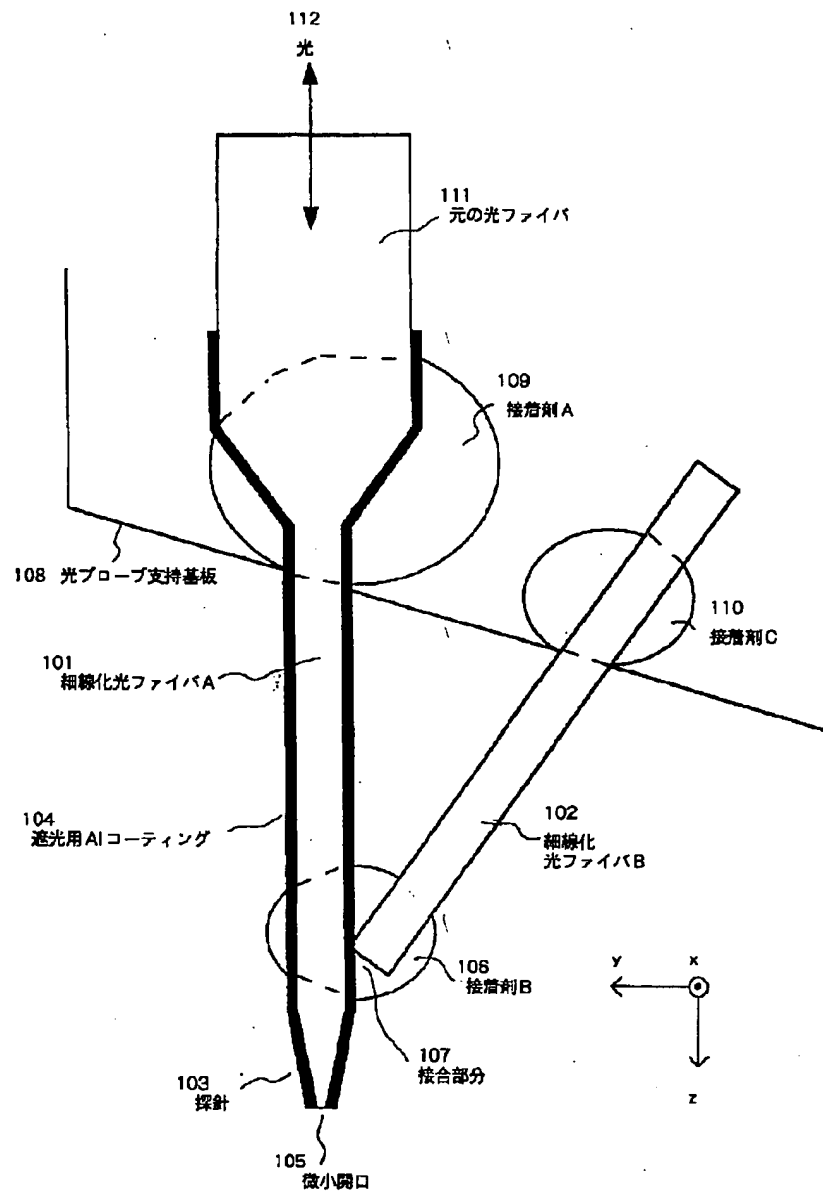
1206: 近接場光プローブの中心軸
 1301: 微小開口
 1302: 樹脂コート
 1303: 先端を曲げ微小開口を形成した細線化光ファイバ
 1401: 先端を曲げ、微小開口を形成した細線化光ファイバ
 1402: zステージ
 1403: 支持台
 1404: 樹脂溶液
 1405: 微小開口
 1406: 沈みストッパー
 1501: 微小開口形成部分
 1502: 樹脂コート
 1503: 細線化光ファイバ
 1504: Al蒸着
 1505: 遮光用Al膜

1506: 中心軸
 1601: V字カンチレバー形の近接場光プローブ
 1602: プローブ支持基板
 1603: レーザB
 1604: 二分割センサ
 1605: xyzステージ
 1606: レジスト
 1607: 基板
 1608: コンピュータ
 1609: 光ファイバ
 1610: レーザA
 1611: 集光レンズA
 1612: 潜像パターン
 1701: 試料表面
 1702: 光プローブ
 1703: ピエゾ素子

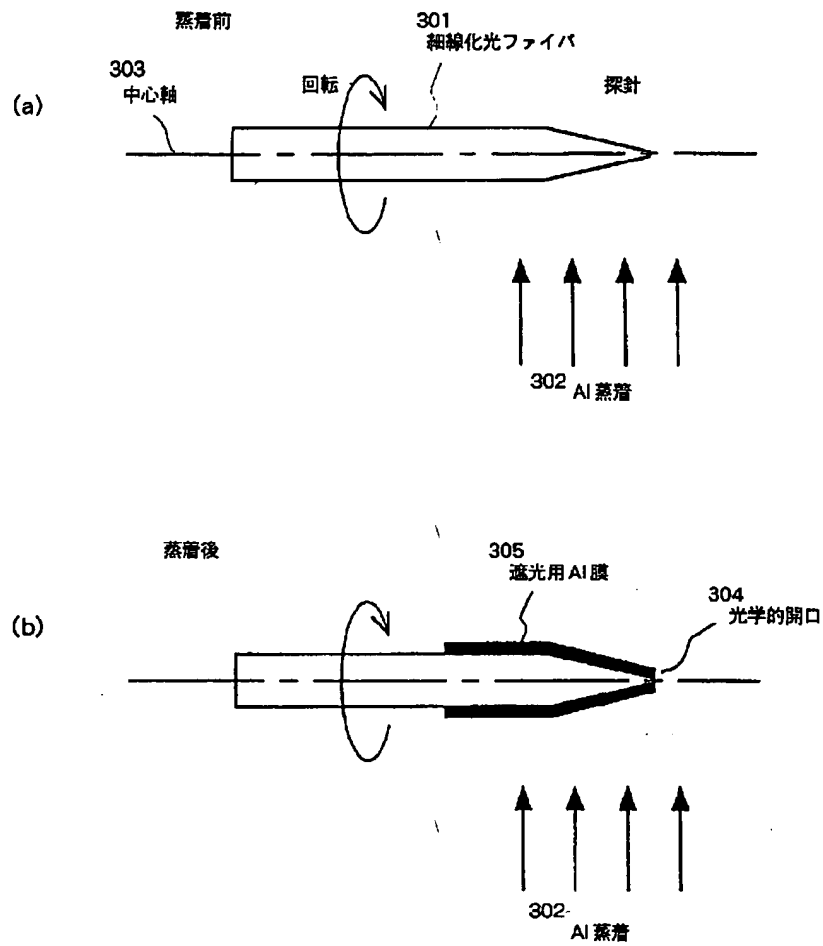
【図2】



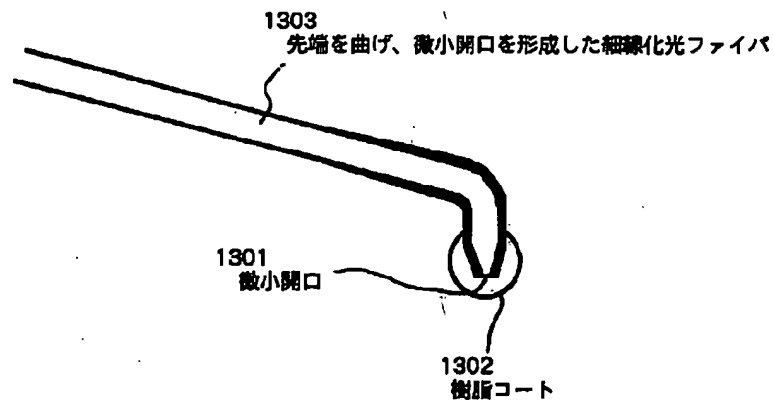
【図1】



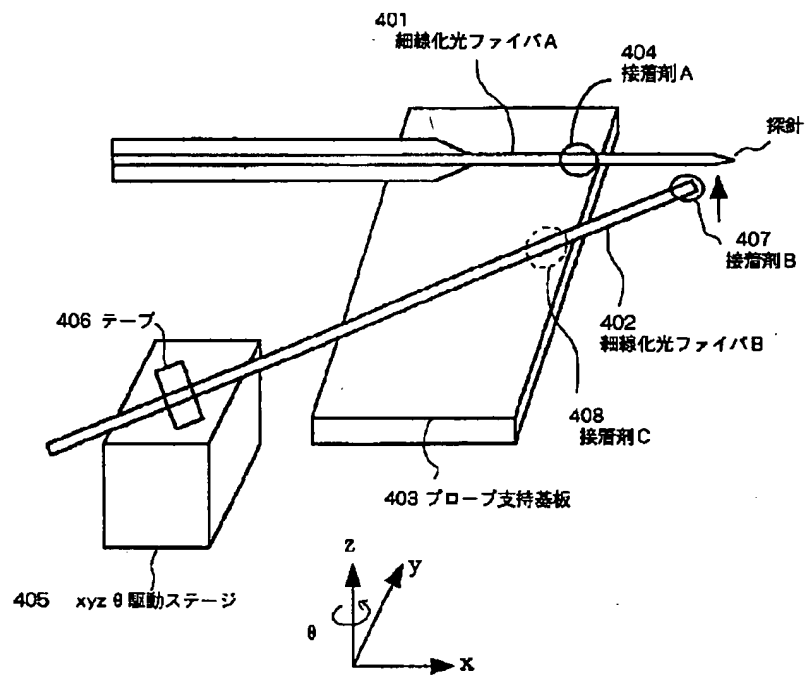
【図3】



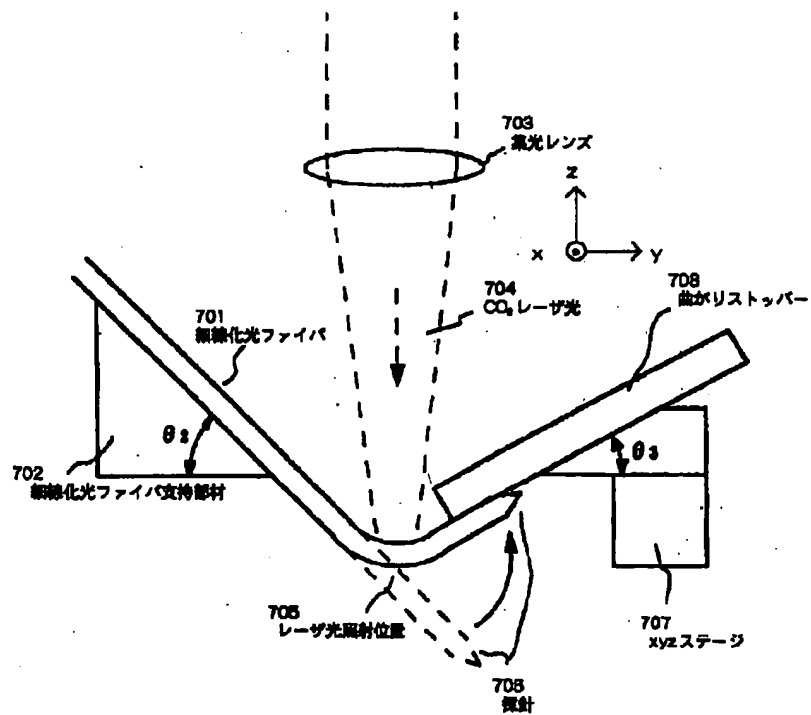
【図13】



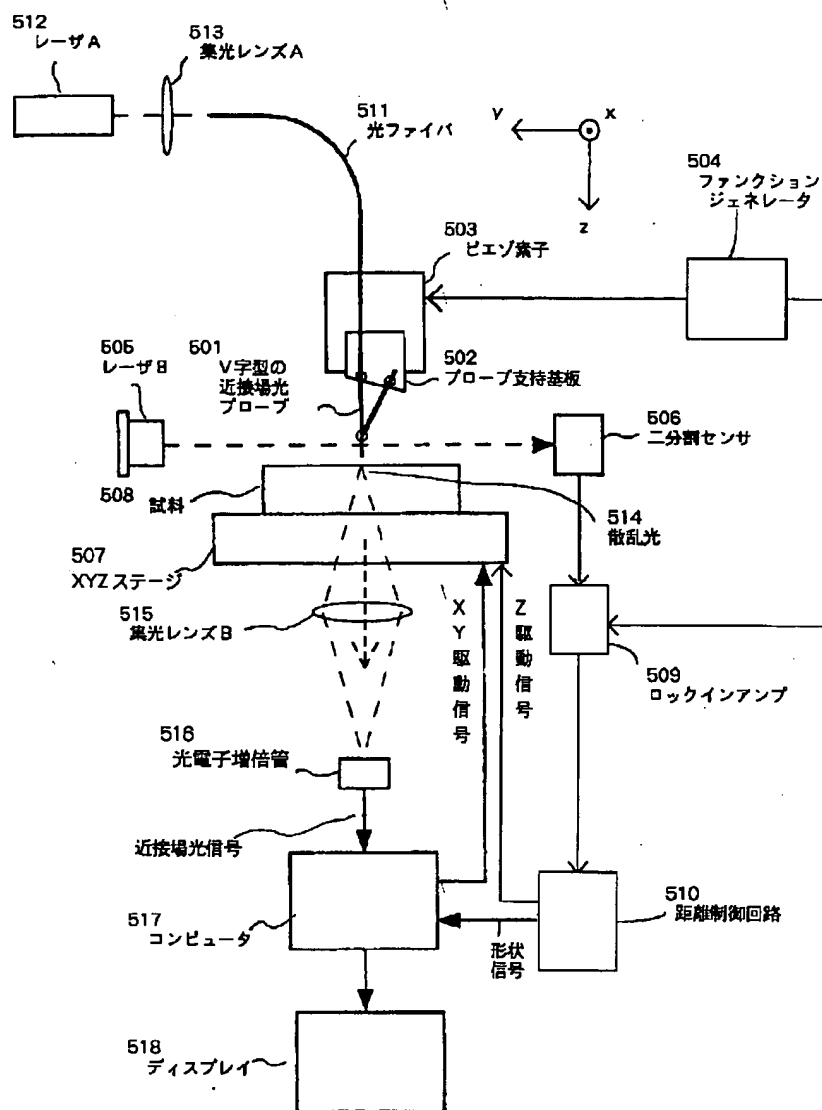
【図4】



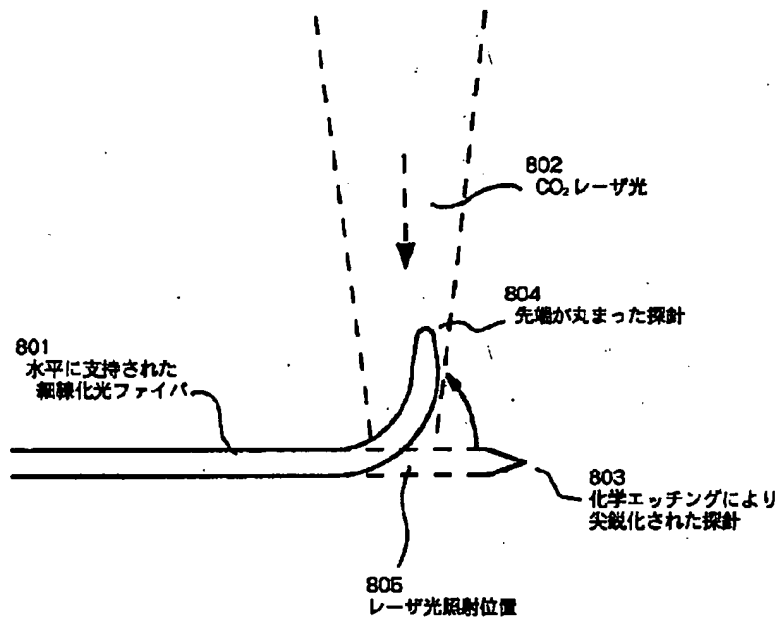
【図7】



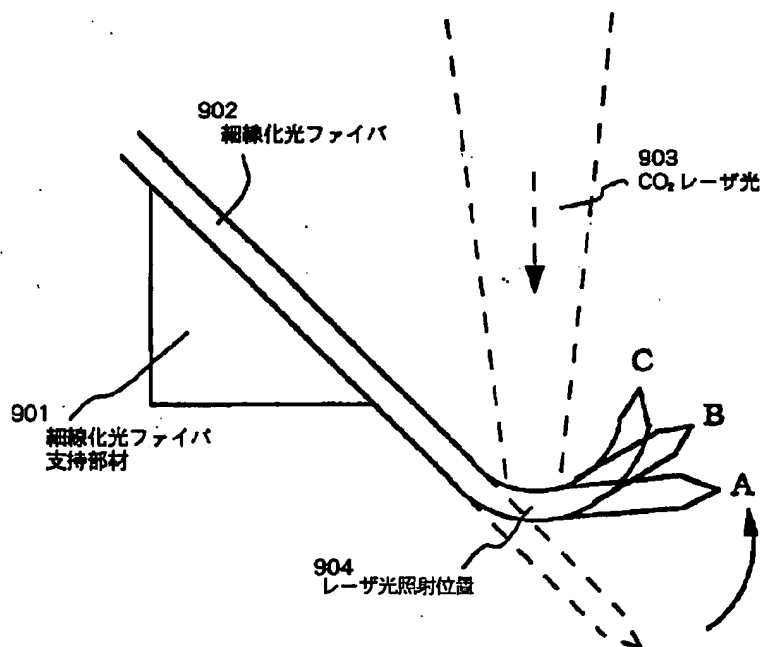
【図5】



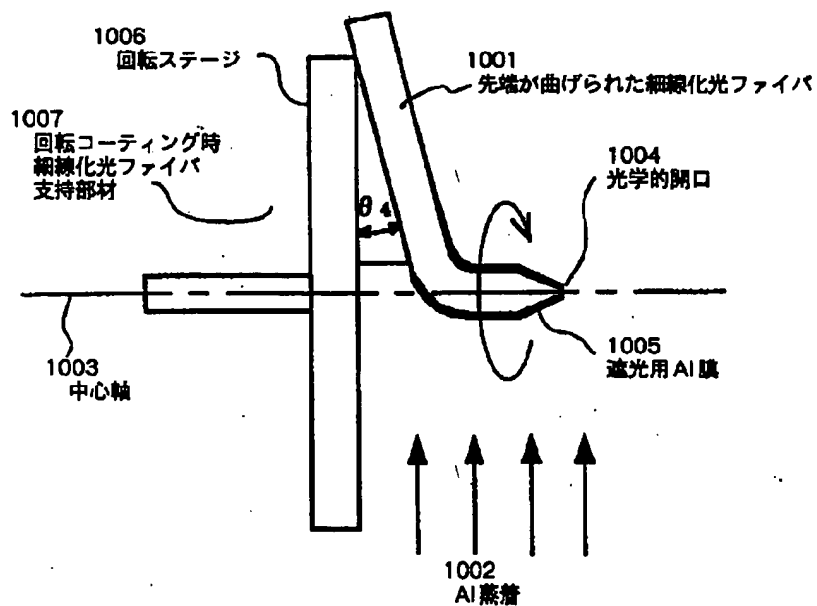
【図8】



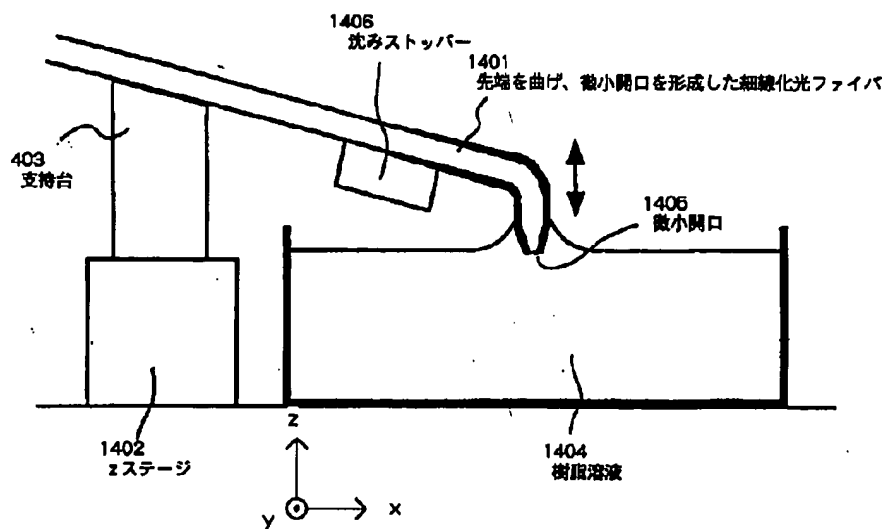
【図9】



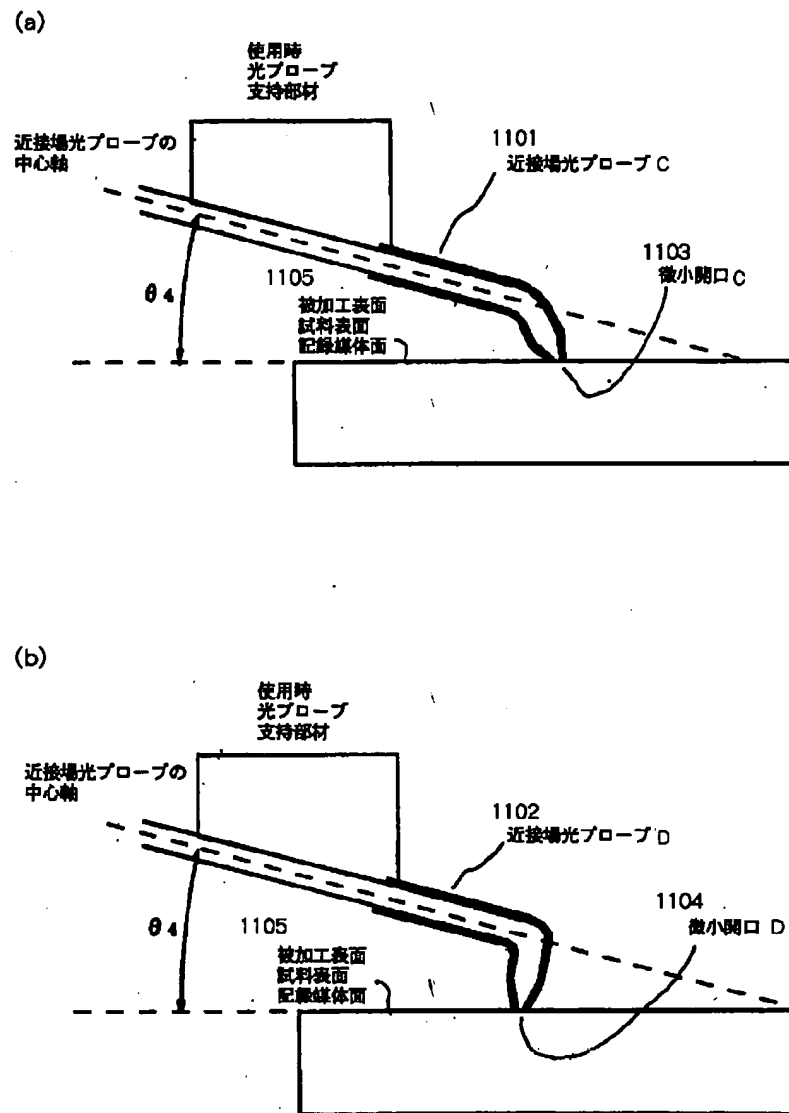
【図10】



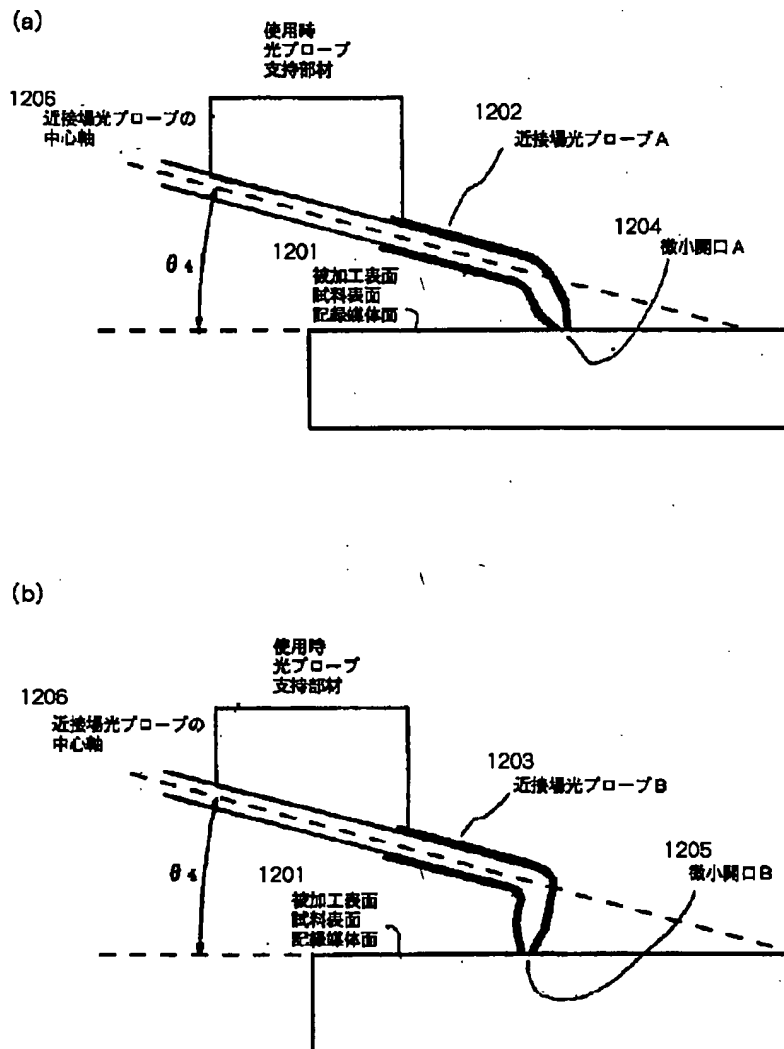
【図14】



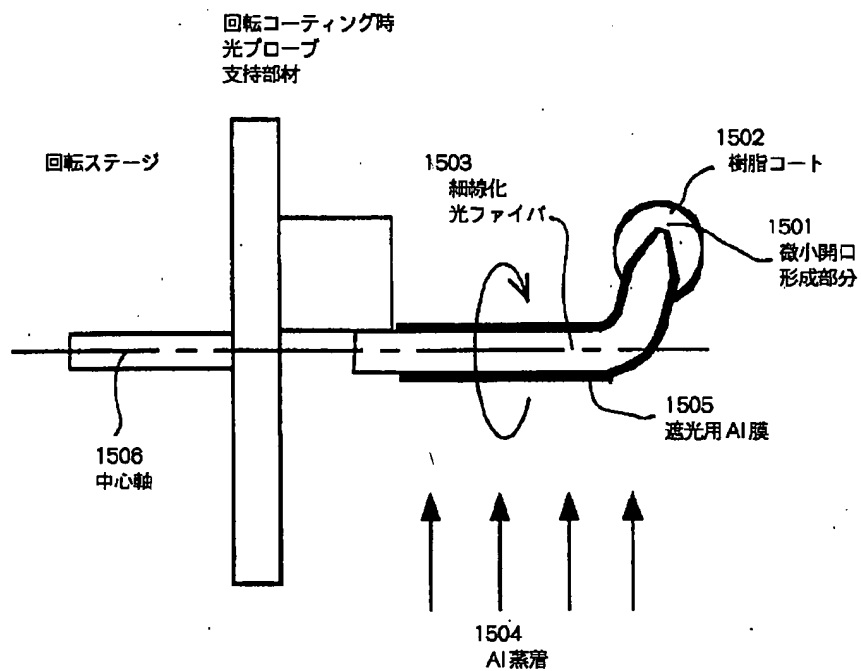
【図11】



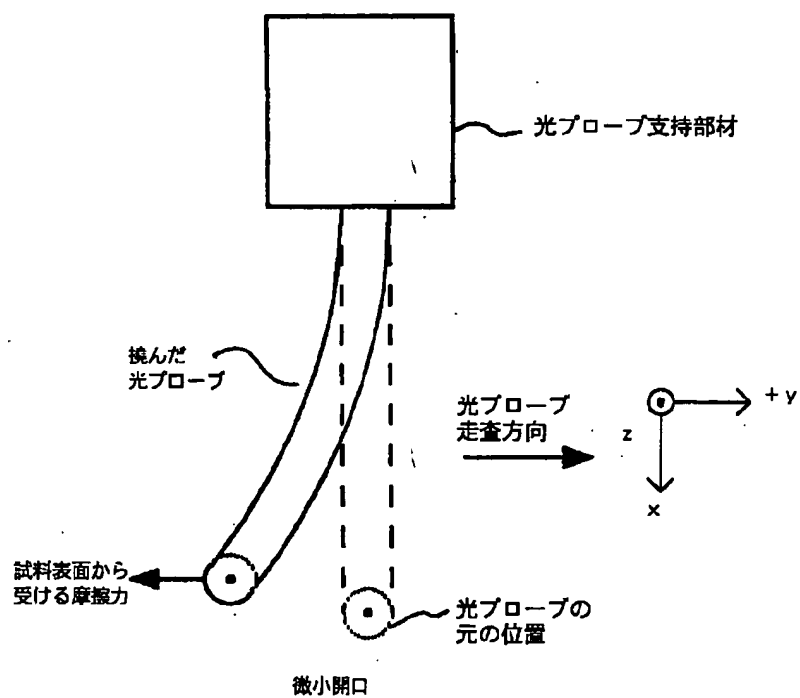
【図12】



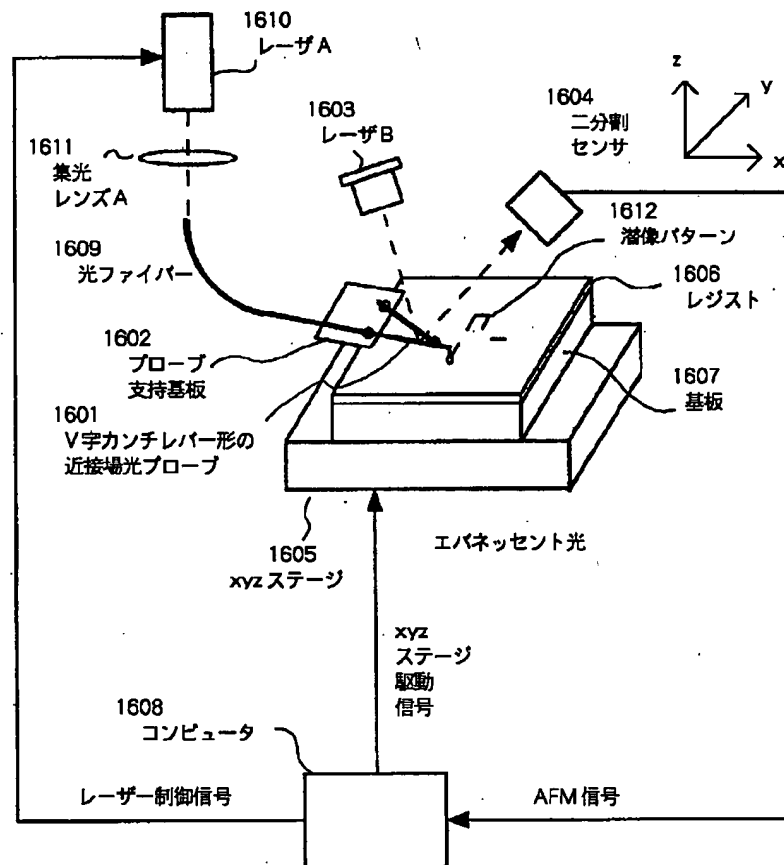
【図15】



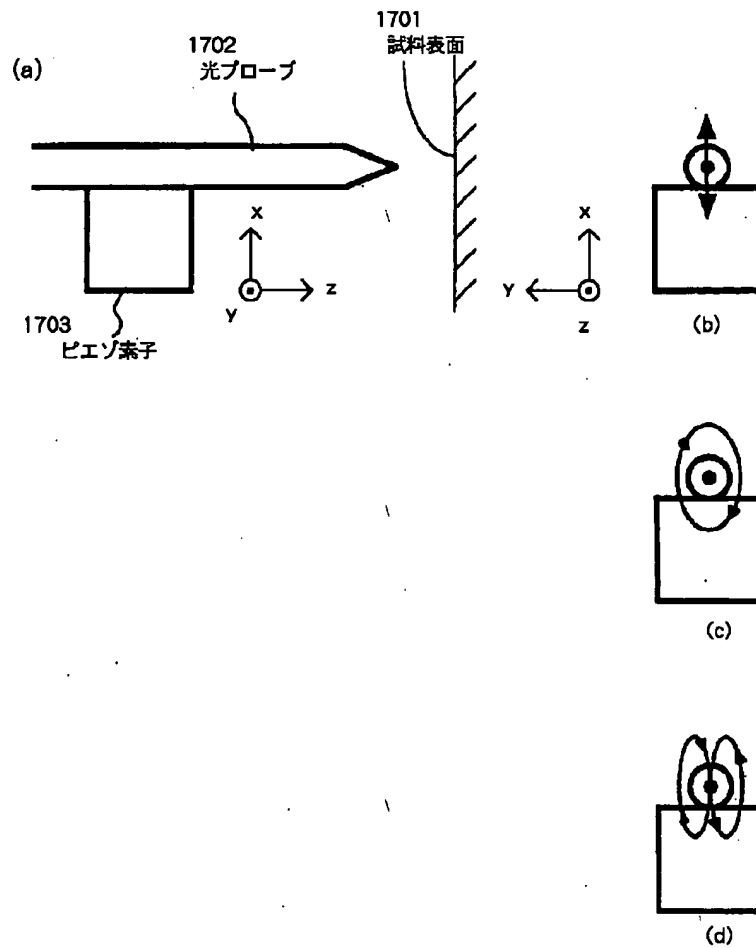
【図18】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷
 G 1 2 B 21/06
 // G 0 1 B 11/24

識別記号

F I
 G 1 2 B 1/00
 G 0 1 B 11/24

ターム(参考)

6 0 1 C
 A

Fターム(参考) 2F065 AA07 AA52 AA60 DD03 FF00
 FF01 GG04 HH04 HH13 JJ01
 JJ05 JJ07 JJ09 JJ17 JJ23
 LL02 LL57 MM03 PP12 SS13
 UU01
 4E068 CA08 DA00 DA16
 5D090 CC01 CC04 FF11 LL01
 5D119 AA22 AA38 JA34 NA05

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]**[0001]**

[Field of the Invention] This invention relates to the production equipment of the production approach of an approaching space light probe, and an approaching space light probe and an approaching space light probe, an approaching space optical microscope, approaching space light micro-processing equipment, and an approaching space optical recording regenerative apparatus.

[0002]

[Description of the Prior Art] By bringing close the probe which sharpened the tip to the distance of 100nm or less to a sample in recent years by progress of the SPM (scanning probe microscope) technique represented by STM (scanning tunneling microscope) and AFM (atomic force microscope), it becomes possible to raise the resolution as a microscope by leaps and bounds, and the thing of an atom or molecule size can be observed now. It is also related with light. As a family of SPM The approaching space optical microscope (it omits Following SNOM) [J.Appl.Phys.vol.59 besides EP0112401 and Durig, p.3318 (1986)] which investigates a sample surface state using the EBANESSENTO light which oozes out from minute opening of the acute optical end of the probe, Incidence of the light is carried out on condition that total reflection through prism from a sample rear face. The photon STM (it omits Following PSTM) [Phys.Rev.B vol.39 besides Reddick, p.767 (1989)] which detects the approaching space light which oozes out to a sample front face with an optical probe from a sample front face, and investigates a sample front face was developed. By using Above SNOM, a minute field 100nm or less can be accessed, and optical information can be detected. As the production approach of the optical probe used for SNOM, chemical etching of the optical fiber is carried out, and the approach of being radicalized in the tip of an optical fiber is proposed using the difference in the etch rate by the difference in the quality of the material of a core and a clad (JP,5-241076,A). Moreover, the approach of being radicalized by fusing the part by heater heating, or laser radiation and discharge, and extending it, where an optical fiber and a pipet are pulled is also proposed (U.S. Pat. No. 4917462 specification). Now, some methods are proposed as a method for controlling the location of the optical end of the probe to a sample front face in SNOM in distance of 100nm or less which an operation of approaching space light attains to. The 1st method is a shear force method which performs distance control so that an optical probe may be vibrated in parallel to a sample front face, the shear force which is the Van der Waals force of the longitudinal direction committed between the optical end of the probe and a sample front face may be detected and this may be kept constant. the 2nd method detects the Van der Waals force committed between the optical end of the probe and a sample front face, and the force between atoms, using the optical probe of a cantilever form as an optical probe, and keeps this constant -- as -- a distance system - it is the AFM method to hold. Here, as an optical probe of the cantilever type used for an AFM method, the tip of a pipet or an optical fiber is processed, optical minute opening is formed at the tip of a projection, and the method of bending a pipet and an optical fiber and giving the function as a cantilever is further proposed by irradiating CO2 laser light etc. (a U.S. Pat. No. 5677978 specification, JP,7-174542,A).

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the optical probe production approach which bends and cantilever-izes the above optical fibers and pipets which were radicalized, it has the following troubles. The example which supported horizontally the optical fiber (thinning optical fiber 801) which was radicalized on the occasion of the CO₂ laser exposure to drawing 8 is shown. In drawing 8, if the CO₂ laser light 802 is irradiated from a tip for a while to the thinning optical fiber 801 supported horizontally in a front location, the laser beam exposure location 805 will fuse and it will bend above [in drawing]. Consequently, the probe tip 803 which was radicalized in the chemical etching of a last process goes into the exposure range of CO₂ laser light, and serves as the probe 804 to which the radicalized tip fused and the tip was round. Consequently, the diameter of opening formed with the below-mentioned opening formation process will also become large, and the resolution as an approaching space light probe will fall.

[0004] Then, this invention solves the technical problem in the above-mentioned conventional thing, and when the exposure of a laser beam performs bending, an approaching space light probe It is prevented that a probe tip fuses and is round with the laser beam irradiated. It aims at offering the production equipment of the production approach of the approaching space light probe which becomes possible [producing the approaching space light probe of high resolving power], and an approaching space light probe and an approaching space light probe, an approaching space optical microscope, approaching space light micro-processing equipment, and an approaching space optical recording regenerative apparatus.

[0005]

[Means for Solving the Problem] This invention offers the production equipment of the production approach of the approaching space light probe constituted like following (1) - (12), and an approaching space light probe and an approaching space light probe, an approaching space optical microscope, approaching space light micro-processing equipment, and an approaching space optical recording regenerative apparatus, in order to attain the above-mentioned technical problem.

(1) The production approach of the approaching space light probe characterized by to fuse an exposure part by the exposure of a laser beam, to perform bending at a predetermined include angle for a part for the point which has a probe to a part for root Motobe, and to perform bending as said approaching space light probe receives the exposure of this laser beam from the shifted include angle to the perpendicular direction which is the direction of radiation of said laser beam in the production approach of the approaching space light probe which produces an approaching space light probe.

(2) The production approach of an approaching space light probe given in the above (1) characterized by stationing a bending stopper and restricting the angle of bend of said approaching space light probe in said bending.

(3) In the production equipment of the approaching space light probe equipped with a bending means to bend a part for the point which fuses an exposure part by the exposure of a laser beam, and has a probe to a part for root Motobe at a predetermined include angle At the include angle which said bending means shifted from the perpendicular direction which is the direction of radiation of said laser beam Production equipment of the approaching space light probe characterized by being constituted so that the approaching space light probe which has the support means which supports said approaching space light probe, and was supported by this support means may receive the exposure of this laser beam from the direction of radiation of this laser beam, and the shifted include angle.

(4) Production equipment of an approaching space light probe given in the above (3) characterized by constituting said bending means so that it may have a bending stopper and this bending stopper may restrict the angle of bend of said approaching space light probe.

(5) The above (1) The production approach of an approaching space light probe given in either of - (2), Or the approaching space light probe produced with the production equipment of the approaching space light probe of a publication by either of above-mentioned (3) - (4) is used. The process which forms a protection-from-light ingredient to a part for a part for the point bent by said bending, and this root Motobe Dividing into two steps of the 1st [to a part for this point] membrane formation process, and

the 2nd [to a part for this root Motobe] membrane formation process, and rotating a probe to the circumference of each different shaft on the occasion of membrane formation at each [these] membrane formation process The production approach of the approaching space light probe characterized by performing membrane formation by the protection-from-light ingredient on a probe front face from a direction perpendicular to the revolving shaft.

(6) In said 1st membrane formation process, the include angle which supports a part for root Motobe of said approaching space light probe to a direction perpendicular to said revolving shaft The production approach of an approaching space light probe given in the above (5) characterized by making it in agreement with the include angle which the amount of [of this approaching space light probe] root Motobe makes to the sample front face which this approaching space light end of the probe is made to counter in case it attaches in the equipment which uses this approaching space light probe.

(7) The above (1) Approaching space light probe produced by the production approach of an approaching space light probe given in either of - (2), or the production approach of an approaching space light probe given in either the production equipment of an approaching space light probe given in either of - (4), or above-mentioned (3) above-mentioned (5) - (6).

(8) While supporting to a substrate so that the tip of this approaching space light probe may become the above (7) with the free end of a cantilever with the approaching space light probe of a publication The approaching space light probe characterized by joining the other end of a cylindrical member different from this approaching space light probe with which the end was supported to said substrate near the tip of said approaching space light probe, forming V typeface, making and consisting of this approaching space light probe and this cylindrical member.

(9) The process supported to a substrate so that the tip of this approaching space light probe may become the above (7) with the free end of a cantilever using the approaching space light probe of a publication, The process joined so that the include angle which it faces joining the end of a cylindrical member different from this approaching space light probe near the tip of this approaching space light probe, and this cylindrical member makes to this approaching space light probe may turn into a predetermined include angle, The production approach of the approaching space light probe characterized by having the process which supports the other end of said cylindrical member to said substrate.

(10) The approaching space optical microscope characterized by constituting in the approaching space optical microscope which observes a sample front face with an approaching space light probe with an approaching space light probe given [said approaching space light probe] in either of above-mentioned (7) - (8), or the approaching space light probe produced by the above (9) by the production approach of the approaching space light probe a publication.

(11) Approaching space light micro-processing equipment characterized by to constitute in the approaching space light micro-processing equipment which carries out micro processing of the processed surface with an approaching space light probe with an approaching space light probe given [said approaching space light probe] in either of above-mentioned (7) - (8), or the approaching space light probe produced by the above (9) by the production approach of the approaching space light probe a publication.

(12) The approaching space optical-recording regenerative apparatus characterized by to constitute in the approaching space optical-recording regenerative apparatus which performs informational record playback with an approaching space light probe with an approaching space light probe given [said approaching space light probe] in either of above-mentioned (7) - (8), or the approaching space light probe produced by the above (9) by the production approach of the approaching space light probe a publication.

[0006]

[Embodiment of the Invention] When fusing a processing beam exposure part and performing bending of a cantilever form contiguity place light probe by applying the above-mentioned configuration of this invention, Mari Maru at the tip by melting can avoid and it becomes possible in the gestalt of operation of this invention to produce the approaching space light probe of high resolving power by performing a

processing beam exposure to the processing beam direction of radiation at the include angle which shifted the approaching space light probe from the perpendicular.

[0007]

[Example] Below, drawing is used and explained about the example of this invention.

[0008] Drawing 1 is drawing showing the configuration of the approaching space light probe in the example of this invention, and shows the cross section which cut this probe at the flat surface containing the medial axis of an approaching space light probe. In drawing 1, 101 is thinning optical fiber A which has a cylinder cylindrical configuration with a diameter of 20 micrometers, and, similarly 102 is thinning optical fiber [of a cylinder cylindrical configuration with a diameter of 20 micrometers] B.

[0009] Radius of curvature is radicalized in a cone configuration to 1 micrometer or less, and the tip of the thinning optical fiber A101 constitutes the probe 103. As metal coating of the sake for protection from light, aluminum coating 104 for protection from light of 150nm of thickness is performed to the perimeter of the thinning optical fiber A101. The minute opening 105 with a magnitude of 100nm or less is formed at the tip of a probe 103 for the diameter. Near the tip of the thinning optical fiber A101, it is joined with adhesives B106 and the end of the thinning optical fiber B102 constitutes a part for a joint 107. A part for root Motobe of the thinning optical fiber A101 is being fixed to the optical probe support substrate 108 with adhesives A109. The other end of the part for a joint 107 and the opposite side of the thinning optical fiber B102 is being fixed to the optical probe support substrate 108 with adhesives C110.

[0010] The displacement of probe 103 part at a tip in x directions is attained by producing the elastic deformation to x directions shown in the thinning optical fiber A101 all over drawing by the above-mentioned configuration. However, since the thinning optical fiber B102 is joined to V typeface, the elastic deformation to the direction of y decreases, and can also make small the amount of displacement to the direction of y of probe 103 part.

[0011] as the example of a concrete numeric value -- a diameter -- each -- the 20-micrometer thinning optical fiber A101 -- and Use the quality of the material of the thinning optical fiber B102 as a quartz, and it reaches thinning optical fiber A101 from the optical probe support substrate 108. If the include angle at which 500 micrometers, the thinning optical fiber A101, and the thinning optical fiber B102 make each die length to which the thinning optical fiber B102 has projected is made into 45 degrees When the force is applied at the tip of this contiguity place light probe, the elastic coefficient about the variation rate of the direction of y increases hard 1000 times with 20000 N/m to the elastic coefficient about the variation rate of the x directions of a tip being set to m in 20Ns /. For this reason, when the same force is added, compared with the variation rate of the x directions of probe 103 part, it turns out that the variation rate of the direction of y becomes very small.

[0012] It is connected with the original optical fiber 111 before thinning is carried out by the amount of [of the thinning optical fiber A101] root Motobe, and it can generate approaching space light from the minute opening 105 by carrying out incidence of the light 112 from the edge of the optical fiber 111 of the origin of this. Moreover, it becomes possible to detect approaching space luminous intensity by carrying out outgoing radiation of the propagation light from which the EBANESSENTO light detected by the minute opening 105 was changed within the thinning optical fiber A101 from the edge of the original optical fiber 111.

[0013] Next, the production approach of the approaching space light probe in this example is explained using drawing 2 - drawing 4. Drawing 2 is drawing explaining the process which carries out thinning of the optical fiber using chemical etching. About 10mm is made to permeate the etching reagent 202 in the Teflon (trademark) container 201 from the tip of the optical fiber 203 in which die length of about 50mm carried out the end-face cleavage. The configuration of the optical fiber used here is as follows. clad 204 path -- as for the pure quartz and core quality of the material, 20 micrometers and the quality of a clad plate dope [125 micrometers and core 205 path] GeO₂ at concentration % of 16 mols to a pure quartz.

[0014] The presentation of an etching reagent 202 is NH₄F(40% water solution):HF(50% water solution):H₂O=10:1:1. A core tip is radicalized while the diameter of a clad becomes small, as the clad

and core of an infiltration part are etched and an optical fiber 203 is shown in the optical fiber 209 in the middle of etching in drawing, when an etching reagent 202 is permeated. Since the core part by which GeO's₂ is doped having a low etching rate compared with a clad part, and (1) (2) optical fiber are extended and produced in case, as for this, a quartz is etched, an anisotropy arises in the extension direction and a direction perpendicular to it, and two of etching rates differing between the extension direction and a perpendicular direction have become a cause. After etching initiation, a clad part is lost by etching, a core part is exposed (core exposure part 206), and only the core part (radicalization part 208) which was radicalized in the shape of a cone remains about 10 hours after. The situation at this time is shown in the optical fiber 207 at the time of the etching termination in drawing.

[0015] According to the above process, the core exposure part 206 with a diameter of 20 micrometers and the thinning optical fiber in which radius of curvature has the conic tip configuration of having the radicalization part 208 1 micrometer or less can be obtained. Since this thinning optical fiber consists of only core parts of the original optical fiber, when the original optical fiber is a step index (SI) mold, core materials consist of a homogeneous ingredient and a tip becomes cone-like. Moreover, when the original optical fiber is a gray dead index (GI) mold, core materials become that to which component percentage changed from the core gently toward the periphery, and although a tip is a cone-like mostly, it serves as configuration shifted for a while.

[0016] The thinning optical fiber obtained by etching until a core is exposed, as explained above can form a conic probe at a tip mostly, and does not have a perpendicular field to a medial axis near the boundary of a probe root and a thinning optical fiber side face. for this reason, the protection from light from the longitudinal direction described below -- public funds -- by group vacuum evaporatio_{no}, partial thickness other than the minute opening formation part at a tip does not become thin, and an unnecessary leakage light is lost. Moreover, since it is possible to perform thinning and radicalization processing at a single process, the etching reagent of two or more presentations is not used for a multistage story, and cost is reduced.

[0017] Next, the formation approach of an approaching space light probe of having optical minute opening at the tip of the optical fiber in this example is explained. The aluminum vacuum evaporatio_{no} 302 is performed from a longitudinal direction, making it rotate to the circumference of a medial axis 303 to the thinning optical fiber 301, as shown in drawing 3, and the aluminum film 305 for protection from light with a thickness of 150nm is formed. The tip of the thinning optical fiber 301 is the spherical surface which has the radius of curvature of 1 micrometer or less, and if metal vacuum evaporatio_{no} is performed from a longitudinal direction to this, since the thickness at a tip will become thin compared with a side face, the optical opening 304 is formed. At this time, the size of opening is almost comparable as the radius of curvature at a tip. Thus, after forming an approaching space light probe, fusion splicing of the optical fiber of sufficient die length for the edge of the opposite side is carried out to the probe of a thinning optical fiber, it lets this optical fiber pass, and light at the time of using it as an approaching space light probe is taken.

[0018] Next, when scanning a probe using the approaching space light probe formed as mentioned above, the example of a configuration for making it a location gap of the longitudinal direction at the tip of a probe not arise is explained. In the former, when the optical probe which the optical fiber and the pipet were radicalized and was produced is used for the distance control of a shear force method, the following problems arise. First, as shown in drawing 17 (a), a piezo-electric element 1703 is attached in the optical probe 1702 which has brought close and arranged the tip on the sample front face 1701 in the distance control of a shear force method, and the optical probe 1702 is vibrated in the x in drawing direction. Ideally at this time, the optical end of the probe carries out both-way vibration in the x directions like the arrow head shown in drawing 17 (b) which is drawing seen from the sample side. However, since the optical probe which the optical fiber and the pipet were radicalized and was produced is cylindrical, the elastic coefficient about bending of x directions and the direction of y becomes the same. Therefore, while vibrating in the x directions, the oscillating component of the direction of y is excited, and the optical end of the probe rotates in the shape of an ellipse, or as shown in drawing 17 (c), as shown in drawing 17 (d), it exercises in the shape of [of 8] a character. for this

reason, the location of observation, or processing and record where the optical end of the probe used a lifting and SNOM in the direction of y for the location gap -- resolution will fall.

[0019] Moreover, an optical fiber and a pipet are radicalized, the optical probe which cantilever-ized further and was produced contacts the end of the probe to a sample side, and when it uses for the distance control of the contact mode AFM method which detects the repulsive force of Van der Waals force, the following problems arise. In case an optical probe is made to scan in the direction of $+y$ as the cantilever form light probe which the tip was made to approach to a sample front face, and has been arranged is shown in drawing 18 whose sample side is drawing seen from the field of the opposite side, the optical end of the probe receives the frictional force from a sample front face, and produces bending in the direction opposite to a scanning direction of $-y$. for this reason, the location of observation, or processing and record where the optical end of the probe used a lifting and SNOM in the direction of $-y$ for the location gap -- resolution will fall.

[0020] On the other hand, it becomes possible to prevent a location gap of the longitudinal direction at the tip of a probe by joining so that V typeface may be formed near the tip of the thinning optical fiber which is the above, and made and formed another thinning optical fiber like this example. Specifically, the thinning optical fiber A401 produced as explained until now using the equipment shown in drawing 4, and another thinning optical fiber B402 which performed thinning using chemical etching similarly are joined to V typeface. First, the thinning optical fiber A401 is fixed to the probe support substrate 403 using adhesives A404. Next, the thinning optical fiber B402 is applied to the xyztheta stage 405, and adhesives B407 are applied at the tip of a tacking meal and the thinning optical fiber B402 on a tape 406. Finally, using a microscope, a video camera, etc. from the 2-way of the direction of z in drawing, and the direction of y , and acting as a monitor, the xyz stage 405 is driven and it joins by performing alignment so that the tip of the thinning optical fiber B402 with which the predetermined include angle was applied to nothing and adhesives B407 near the tip of the thinning optical fiber A401 may come. After adhesives B407 fully solidify, a tape 406 is removed and the thinning optical fiber B402 is fixed to the probe support substrate 403 using adhesives C408.

[0021] Here, although the example of V typeface junction **** equipment was shown using adhesives, while opposing two needlelike electrodes, a part for a joint may be installed, and it may discharge to needlelike inter-electrode [two], and you may join by discharge welding. Moreover, CO2 laser beam is irradiated and you may join to a part for a joint by laser welding.

[0022] The configuration of the approaching space optical microscope of the shear force distance control mold using the approaching space light probe of V typeface produced according to the above process is shown in drawing 5. The probe support substrate 502 which supports the approaching space light probe 501 of V typeface in drawing 5 is attached in a piezo-electric element 503, and it is made to vibrate in the x in drawing direction by impressing a sinusoidal signal from a function generator 504. If the frequency of a sinusoidal signal is made in agreement with the resonance frequency about bending of the x directions of the approaching space light probe 501 of V typeface at this time, approaching space probe 501 tip will resonate. Laser B505 to laser is irradiated from y near the approaching space light probe 501 tip of this resonance state, the two-piece-housing sensor 506 detects location change of that transmitted light beam spot, and the difference signal of the two-piece-housing sensor 506 outputs the signal corresponding to the amount of vibration at approaching space light probe 501 tip.

[0023] On the other hand, sample 508 front face carried on the xyz stage 507 is close brought at the tip of the approaching space light probe 501 of V typeface to the distance of 100nm or less. At this time, a shear force (Van der Waals force) acts between the tip of the approaching space light probe 501, and sample 508 front face, and the amplitude of vibration of approaching space light probe 501 tip decreases. The lock in amplifier 509 detects the amplitude of this vibration based on the difference signal of the two-piece-housing sensor 506, and the reference sign of a function generator 504, and the direction feedback distance control of z of the xyz stage 507 is performed using the distance control circuit 510 so that this may become fixed. At this time, the direction feedback distance control signal of z is inputted into a computer 517 as a configuration signal of sample 508 front face at coincidence.

[0024] Furthermore, incidence of the laser beam from laser A512 is carried out to the optical fiber 511

linked to the approaching space light probe 501 with a condenser lens A513, and approaching space light is generated from minute opening prepared at approaching space light probe 501 tip. This approaching space light is scattered on sample 508 front face, this scattered light 514 is condensed with a condenser lens B515, and the photomultiplier tube 516 detects. The approaching space lightwave signal outputted from the photomultiplier tube 516 is inputted into a computer 517.

[0025] the xy direction scan signal of the xyz stage 507 be output, and an approach space optical microscope image and a shear force (force between atoms) microscope image can be obtain from a computer 517 to coincidence according to the location at approach space light probe 501 tip to sample 508 front face by map the magnitude of an approach space lightwave signal and a configuration signal on a display 518.

[0026] By using the approaching space light probe joined to V typeface mentioned above, it could decrease so small that the amount of blurring to the direction of y can disregard almost at the time of the x direction vibration of the approaching space light probe for shear force detection, and the resolution of an approaching space optical microscope image and a shear force microscope image improved. In addition, the approaching space light probe explained here can be used also for micro-processing equipment and the record regenerative apparatus which used approaching space light in addition to the microscope, and has the same effectiveness.

[0027] Drawing 6 is drawing showing the configuration of the approaching space light probe which used [a part for the point which has a probe to a part for root Motobe] the **** probe for the predetermined include angle for bending. The sectional view which looked at drawing 6 (a) from the upper part, and drawing 6 (b) are the sectional views seen from the side. In drawing 6, 601 is thinning optical fiber A which has a cylinder cylindrical configuration with a diameter of 20 micrometers, and, similarly 602 is thinning optical fiber [of a cylinder cylindrical configuration with a diameter of 20 micrometers] B. The thinning optical fiber A601 is bent by the $\theta_1 = 75$ degree include angle from the tip of the thinning optical fiber A601 in the location of 100 micrometers. This situation is shown in drawing 6 (b). [0028] Radius of curvature is radicalized in a cone configuration to 1 micrometer or less, and the tip of the bent thinning optical fiber A601 constitutes the probe 603. As metal coating of the sake for protection from light, aluminum coating 604 for protection from light of 150nm of thickness is performed to the perimeter of the thinning optical fiber A601. The minute opening 605 with a magnitude of 100nm or less is formed at the tip of a probe 603 for the diameter.

[0029] The end of the thinning optical fiber B602 is joined by the location of 150 micrometers with adhesives B606 from the tip of the thinning optical fiber A601, and a part for a joint 607 is constituted. A part for root Motobe of the thinning optical fiber A601 is being fixed to the optical probe support substrate 608 with adhesives A609. The other end of the part for a joint 607 and the opposite side of the thinning optical fiber B602 is being fixed to the optical probe support substrate 608 with adhesives C610.

[0030] The displacement of probe 603 part at a tip in the direction of z is attained by producing the elastic deformation to the direction of z shown in the thinning optical fiber A601 all over drawing by the above-mentioned configuration. However, since the thinning optical fiber B602 is joined to V typeface, the elastic deformation to x directions decreases and can also make small the amount of displacement to the x directions of probe 603 part.

[0031] as the example of a concrete numeric value -- a diameter -- each -- the 20-micrometer thinning optical fiber A601 -- and Use the quality of the material of the thinning optical fiber B602 as a quartz, and it reaches thinning optical fiber A601 from the optical probe support substrate 608. If the include angle at which 3mm, the thinning optical fiber A601, and the thinning optical fiber B602 make each die length to which the thinning optical fiber B602 has projected is made into 45 degrees When the force is applied at the tip of this contiguity place light probe, the elastic coefficient about the variation rate of the direction of y increases hard 35000 times with 3500 N/m to the elastic coefficient about the variation rate of the x directions of a tip being set to m in 0.1Ns /. for this reason, the case where the same force is added -- the variation rate of the direction of z of probe 603 part -- a ratio -- it turns out that the variation rate of BE and x directions becomes very small.

[0032] It is connected with the original optical fiber 611 before thinning is carried out by the amount of [of the thinning optical fiber A601] root Motobe, and it can generate EBANESSENTO light from the minute opening 605 by carrying out incidence of the light 612 from the edge of the optical fiber 611 of the origin of this. Moreover, it becomes possible to detect approaching space luminous intensity by carrying out outgoing radiation of the propagation light from which the approaching space light detected by the minute opening 605 was changed within the thinning optical fiber A601 from the edge of the original optical fiber 611.

[0033] Next, the production approach of an approaching space light probe that the tip of this example was bent is explained using drawing 7 - drawing 15. Drawing 7 is drawing explaining the process which bends a thinning optical fiber tip by CO2 laser light exposure. The optical fiber 701 which carried out thinning using chemical etching the same with having explained using drawing 2 in this example is fixed to the thinning optical fiber supporter material 702 which makes a $\theta_2=45$ degree include angle to a horizontal plane. The CO2 laser light 704 which used the condenser lens 703 for the location of $140 (=100 \times \sqrt{2})$ μm from the tip, and condensed the diameter of the beam spot to 50 micrometers is irradiated. Thereby, the laser beam exposure location 705 of the thinning optical fiber 701 fuses, and since it is surface tension, probe 706 tip tends to bend in the direction of z in drawing.

[0034] At this time, by attaching beforehand the deflection stopper 708 which makes a $\theta_3=30$ degree include angle to a horizontal plane on the xyz stage 707, and arranging the deflection stopper's 708 tip in the middle of the deflection path of a probe 706, the deflection of a probe 706 bends and it is restrained by the stopper 708. By suspending CO2 laser light 704 exposure after this, the tip of the thinning optical fiber 701 can be bent at the include angle of 75 degrees ($= 45 \text{ degrees} + 30 \text{ degrees}$). Here, deflection processing at a desired include angle can be performed by adjusting the include angle of the thinning light supporter material 702 or the deflection stopper 708.

[0035] Here, in case a CO2 laser is irradiated, the advantage which processes it aslant (this example 45 degrees) in support of a thinning optical fiber is explained. Drawing 8 is drawing showing the example which supported the thinning optical fiber horizontally on the occasion of a CO2 laser exposure.

[0036] In drawing 8, if the CO2 laser light 802 is irradiated from a tip for a while to the thinning optical fiber 801 supported horizontally in a front location, the laser beam exposure location 805 will fuse and it will bend above [in drawing]. Consequently, the probe tip 803 which was radicalized in the chemical etching of a last process goes into the exposure range of CO2 laser light, and serves as the probe 804 to which the radicalized tip fused and the tip was round. Consequently, the diameter of opening formed with the below-mentioned opening formation process will also become large, and the resolution as an approaching space light probe will fall.

[0037] On the other hand, it can avoid that a radicalization tip is round, without a tip going into the CO2 laser exposure range, also after bending at about 75 degrees if it supports aslant at the include angle which shifted the medial axis of the thinning optical fiber 701 from the perpendicular to the CO2 laser light direction of radiation as shown in drawing 7 (even when there being no deflection stopper). Moreover, in case a CO2 laser is irradiated, the advantage which processes it using a deflection stopper is explained. Drawing 9 is drawing showing the example which bends in the case of a CO2 laser exposure, and does not have a stopper.

[0038] In drawing 9, if the CO2 laser light 903 is irradiated from a tip for a while in a front location to the thinning optical fiber 902 aslant supported using the thinning optical fiber supporter material 901, the laser beam exposure location 904 will fuse and it will bend above [in drawing]. Then, the probe with which whenever [corner of a street / of a tip] differed greatly as it is difficult to control whenever [corner of a street] at a desired include angle since it becomes rapidly and large as, as for a deflection rate, whenever [corner of a street] becomes large, although laser radiation is suspended and deflection is stopped and A, B, and C showed to drawing 9 as a result tends to be obtained. On the other hand, if it bends as shown in drawing 7, and a stopper is used, the probe which has whenever [corner of a street / of a desired include angle] is producible with the sufficient yield.

[0039] Next, the thinning optical fiber 1001 with which the tip was bent as shown in drawing 10 is supported to the thinning optical fiber supporter material 1007 at the time of rotation coating leaned to

the $\theta = 15^\circ$ include angle to the rotation stage 1006. At this time, the tip where the thinning optical fiber 1001 was bent is turned in the direction of a normal of a rotation stage side, and is arranged. The rotation stage 1006 rotates by making the direction of a normal of a stage side into a medial axis 1003. The aluminum vacuum evaporation 1002 is performed from a longitudinal direction in this condition, and the aluminum film 1005 for protection from light with a thickness of 150nm is formed. The tip of the thinning optical fiber 1001 is the spherical surface which has the radius of curvature of 1 micrometer or less, and if metal vacuum evaporation is performed from a longitudinal direction to this, since the thickness at a tip will become thin compared with a side face, the optical opening 1004 is formed. At this time, the size of opening is almost comparable as the radius of curvature at a tip.

[0040] When it is made to rotate by making the revolving shaft in the case of rotation metal vacuum evaporation in agreement with the medial axis of the bending part at the tip of a thinning optical fiber and is the approaching space light probe with which whenever [corner of a street] varied, the direction of minute opening can be made in agreement here in the direction of the medial axis of the bending part at the tip of a thinning optical fiber. However, as shown in drawing 11, when approaching space light probes C1101 and D1102 which are different to the actually used equipment are attached, the direction of the minute openings C1103 and D1104 is not in agreement with the direction of a normal on a processed front face, a sample front face, and the front face 1105 of a record medium, a various direction turns to, the distribution directions of the approaching space light to generate will differ, and a location gap will produce in the case of processing, observation, and record playback.

[0041] On the other hand, as shown in drawing 12, in case the include angle θ leaned in case the thinning optical fiber 1001 with which the tip was bent is fixed to the rotation stage 1006 is attached in the equipment which uses the approaching space light probe of this example, it can be made in agreement with the include angle which puts the medial axis 1206 of an approaching space light probe to a processed front face, a sample front face, and the record-medium front face 1201. Namely, the thinning optical fiber with which whenever [corner of a street] has varied as it bends at the time of bending by CO₂ laser exposure and is shown in drawing 9 by this not using a stopper is also received. Although rotation metal vacuum evaporation is performed as shown in drawing 10, opening formation is performed and the direction of the produced approaching space light probe A1202 and the minute openings A1204 and B1205 at B1203 tip differs from the deflection direction at the tip of a thinning optical fiber. It can be made surely in agreement with the direction of a normal on a processed front face, a sample front face, and the front face of a record medium.

[0042] Now, as explained until now, the resin coat 1302 is performed so that minute opening 1301 part may be covered, as a tip is shown in drawing 13 to bending and the thinning light probe 1303 in which minute opening was formed. It is avoidable that minute opening is closed at the time of aluminum vacuum evaporation of a next two-step time with this resin coat. How to perform a resin coat is explained using drawing 14. The thinning light probe 1401 which formed bending and minute opening for the tip is fixed to the susceptor 1403 on the z stage 1402. The z stage 1402 is driven to down [of drawing 14], and minute opening 1405 part at thinning optical fiber 1401 tip is made to permeate the resin solution 1404. Then, the z stage 1402 is driven to above [of drawing 14], and a resin coat is performed at a tip by pulling up thinning optical fiber 1401 tip from the resin solution 1404.

[0043] Here, as a resin solution, resin removable [with a solvent] later, for example, acrylic resin, a resist, etc. can be used. Here, since the elastic coefficient concerning [the thinning optical fiber 1401] bending of the direction of z in drawing is small, even not only minute opening 1405 part but a root will permeate with the surface tension of the resin solution 1404. Then, it shows and sinks in drawing 14, a stopper 1406 is attached, and it is made to arrange so that the part near a part for the bend section at the tip of the thinning light 1401 may be supported from down. Thereby, the resin coat only of the minute opening 1405 part at thinning optical fiber 1401 tip can be carried out alternatively.

[0044] Next, the aluminum vacuum evaporation 1504 is performed from a longitudinal direction, making it rotate to the circumference of a medial axis 1506 to the side face of the thinning optical fiber 1503 used as minute opening 1501 part resin coat 1502, as shown in drawing 15, and the aluminum film 1505 for protection from light with a thickness of 150nm is formed. Then, ultrasonic cleaning removes a

resin coat in a solvent. By [two steps of] performing aluminum vacuum evaporation while making it rotate, generating of the unnecessary leakage light from the boundary parts of a resin coat part and a coat-ed part is avoidable in the above order.

[0045] From now on, a next process will take light at the time of carrying out fusion splicing of the optical fiber of sufficient die length for the edge of the opposite side to the probe of a thinning optical fiber like, letting this optical fiber pass, and using it as an approaching space light probe mentioned above. Furthermore, thinning optical fiber A produced as explained until now, and another thinning optical fiber B which performed thinning using chemical etching similarly are joined to V typeface using the equipment shown in drawing 4 , and the approaching space light probe of the V character cantilever form shown in drawing 6 is produced.

[0046] The configuration of the approaching space light probe scan processing equipment of the contact AFM distance control mold using the approaching space light probe of the V character cantilever form according bending to a **** probe is shown in a part for the point produced according to the above process at drawing 16 . In drawing 16 , laser B1603 to laser is irradiated from behind near the tip of the approaching space light probe 1601 of a V character cantilever form attached in the probe support substrate 1602, and the two-piece-housing sensor 1604 detects location change of the reflected light beam spot. The difference signal of the two-piece-housing sensor 1604 is an AFM signal corresponding to the amount of bending of the direction of z at approaching space light probe 1601 tip, and inputs this into a computer 1608.

[0047] On the other hand, extent which the Van der Waals force below E-107 [N] commits is made to contact by driving the xyz stage 1605 in the direction of z to resist 1606 front face on the substrate 1607 which carried the tip of the approaching space light probe 1601 on the xyz stage 1605. A xyz stage driving signal is outputted from a computer 1608, and the two-dimensional scan of the xyz stage 1605 is made to carry out in the xy direction in this condition.

[0048] To the xy direction driving signal of the xyz stage 1605, by mapping the magnitude of an AFM signal, the shape of surface type of a resist 1606 can be known, and alignment at approaching space light probe 1601 tip to a resist 1606 1607, i.e., a substrate, is performed in a computer 1608 based on this. Furthermore, incidence of the laser beam from laser A1610 is carried out to the optical fiber 1609 linked to the approaching space light probe 1601 with a condenser lens A1611, and approaching space light is generated from minute opening prepared at approaching space light probe 1601 tip.

[0049] When contacting approaching space light probe 1601 tip to extent which the Van der Waals force below E-107 [N] commits in between to resist 1606 front face, both spacing is 100nm or less, and the approaching space luminous intensity in resist 1606 front face is large enough. When alignment of the approaching space light end of the probe is carried out to a position to resist 1606 and a substrate 1607 based on xy driving signal and the AFM signal of the xyz stage 1605 which are outputted from a computer 1608, based on the laser control signal outputted from a computer 1608, it controls an optical exposure and un-irradiating, and latent-image pattern 1612 formation is performed to exposure 1606, i.e., a resist. [of laser A1610] It is the same as that of the usual semi-conductor process after this.

[0050] By using the cantilever form contiguity place light probe joined to V typeface mentioned above, it could decrease so small that the amount of bending to the direction of y can disregard almost at the time of the direction scan of y of the approaching space light probe at the time of exposure, and the process tolerance of approaching space light micro-processing equipment improved. In addition, the approaching space light probe explained by this example can be used also for the microscope and record regenerative apparatus which used approaching space light in addition to micro-processing equipment, and has the same effectiveness.

[0051] Moreover, although this example explained the case where a contact AFM control system was used, as a distance control method of the approaching space light probe to a resist (sample, record medium) front face, the approaching space light probe of this example can use a tapping AFM control system and a non contact AFM control system for others by changing the diameter of a probe, and die length and changing the value of the elastic coefficient of the bending direction.

[0052]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, by fusing a processing beam exposure part and performing a processing beam exposure to the processing beam direction of radiation at the include angle which shifted the approaching space light probe from the perpendicular in the production approach of a cantilever form contiguity place light probe of performing bending, the tip round-head ball by melting can be avoided, and the approaching space light probe of high resolving power is realized.

[Translation done.]

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.